

ВЕСТНИК

Магнитогорского государственного
технического университета им. Г. И. Носова

№1 (45) март 2014 г.

Журнал включен в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук, а также входит в базы данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) и ВИНИТИ. Электронные версии журнала размещаются на сетевом ресурсе Научной Электронной Библиотеки в сети Интернет.

Издается с марта 2003 года

Редакционный совет

Председатель редсовета:

В.М. Колокольцев – ректор ФГБОУ ВПО «МГТУ»,
проф., д-р техн. наук.

Члены редсовета:

А.В. Дуб – ген. директор ОАО НПО
«ЦНИИТМАШ», д-р техн. наук;

Д.Р. Каплунов – член-кор. РАН, проф. ИПКОН
РАН, д-р техн. наук;

В.Ф. Рашинов – Президент ООО «Управляющая
компания ММК», проф., д-р техн. наук;

В.М. Счастливец – зав. лабораторией ИФМ
УрО РАН; академик РАН, д-р техн. наук;

М. Пьетшик – профессор горно-металлургической
академии, г. Краков, Польша;

К. Мори – профессор Технологического
университета, г. Тойохаси, Япония;

И. Горлач – д-р наук в области машиностроения;
руководитель отделения мехатроники университета
им. Нельсона Манделы, Южная Африка;

Х. Дыя – проф., д-р техн. наук, директор
Института обработки металлов давлением
и инженерии безопасности, Ченстоховский
Технологический Университет, Польша;

А.Б. Найзабеков – академик, д-р техн. наук, проф.,
ректор Рудненского индустриального
института, Казахстан;

Р.О. Дюссан – профессор, Руководитель
факультета металлургических технологий
и наук о материалах, Технологический
институт, Мумбай, Индия;

М. Дабала – профессор, Факультет промыш-
ленного инжиниринга Университета г. Падуа,
Италия.

Главный редактор:

М.В. Чукин – первый проректор-проректор
по научной и инновационной работе ФГБОУ
ВПО «МГТУ», проф., д-р техн. наук.

Первый зам. главного редактора:

Г.С. Гун – советник ректора ФГБОУ ВПО
«МГТУ», проф., д-р техн. наук.

Зам. главного редактора:

А.Г. Корчунов – проректор по международной
деятельности ФГБОУ ВПО «МГТУ», проф.,
д-р техн. наук.

Ответственные секретари:

М.А. Полякова – доц., канд. техн. наук
ФГБОУ ВПО «МГТУ»;

М.В. Шубина – доц., канд. техн. наук
ФГБОУ ВПО «МГТУ».

Редактор: Н.В. Кутекина.

Технический редактор: Г.Н. Лапина.

Перевод с английского: Ж.Н. Заруцкая.

© ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2014

Подписной индекс издания 48603 в объединенном каталоге «Пресса России», том 1.

Также подписку в оперативном режиме можно оформить и заплатить в удобной для Вас форме на подписной страничке сайта Агентства «Книга-Сервис» по ссылке:

код html: <http://www.akc.ru/itm/vestnik-magnitogorskogo-gosudarstvennogo-tehnicheskogo-universiteta-im-gi-nosova/>

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС11-1157 от 18 апреля 2007 г.

Выдано Управлением Федеральной службы по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия по Уральскому федеральному округу.

Учредитель – Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.
(455000, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, д. 38).

16+, в соответствии с Федеральным Законом от 29.12.10. №436-ФЗ.

Адрес редакции:

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38
Тел.: (3519) 22-14-93. Факс (3519) 23-57-60
URL: <http://www.vestnik.mgtu.ru>
E-mail: rio_mgtu@mail.ru; vestnik@mgtu.ru

Журнал подготовлен к печати издательским центром МГТУ
им. Г.И.Носова.

Отпечатан на полиграфическом участке МГТУ им. Г.И. Носова
Подписано к печати 20.03.2014.

Заказ 175. Тираж 1000 экз. Цена свободная.

VESTNIK

of Nosov Magnitogorsk State Technical University

№1 (45) March 2014

The journal is the English language edition of the Russian scientific research peer-reviewed journal «Vestnik of NMSTU» and is among the highest ranking Russian scientific journals. A wide spectrum of papers covering almost all aspects of recent theoretical and experimental achievements from mining and mineral processing, iron and steel and rolled manufacturing to downstream products processing for different Industries are published. Online versions of the journal can be found in the Scientific Electronic Library collection in the Internet.

PUBLISHED SINCE MARCH, 2003

Editorial Board Members

Chairman:

V.M. Kolokoltsev – D. Sc., Prof., Rector of Nosov Magnitogorsk State Technical University.

Honorary Board Members:

A.V. Dub – D.Sc., General Director of JSC Research and Production Association of Central Scientific Research Institution of Technical Mechanic Engineering.

D.R. Kaplunov – D.Sc., Prof., corresponding member of Russian Academy of Science.

V.Ph. Rashnikov – D.Sc., Prof., President of LTd «Magnitogorsk Steel and Iron Works Managing Company».

V.M. Schastlivtsev – D. Sc., Chief of laboratory in Russian Academy of Science, Academician of Russian Academy of Science.

M. Pietrzyk – Prof., Akademia Gorniczo-Hutnicza, Krakow, Poland.

K. Mori – Prof., Production Systems Engineering department, Toyohashi University of Technology, Japan.

I. Gorlach – Ph.D., Head of Mechatronics department, Nelson Mandela Metropolitan University, South Africa.

H. Dyja – D.Sc., Prof., Director of the Institute of Metal Forming and Engineering Security, Czestochowa University of Technology, Poland.

A.B. Nayzabekov – D.Sc., Prof., member of the Academy of Sciences, Rector of Rudnensk Industrial Institute, Republic of Kazakhstan.

R.O. Dusane – Prof., Head of Metallurgical Engineering & Materials Science department, Institute of Technology Bombay, India.

M. Dabalà – Prof., Department of Industrial Engineering, University of Padova, Italy.

Editor-in-chief:

M.V. Chukin – D.Sc., Prof., First Vice-Rector-Vice Rector for Science and Innovation, Nosov Magnitogorsk State Technical University.

First deputy chief editor:

G.S. Gun – D. Sc., Prof., Nosov Magnitogorsk State Technical University.

Deputy chief editor:

A.G. Korchunov – D.Sc., Prof., Vice-Rector for International Affairs, Nosov Magnitogorsk State Technical University.

Executive editors:

M.A. Polyakova – Ph.D., assoc. prof., Nosov Magnitogorsk State Technical University.

M.V. Shubina – Ph.D., assoc. prof., Nosov Magnitogorsk State Technical University.

Editor: *N.V. Kutekina.*

Technical editor: *G.N. Lapina.*

Translated from English: *Zh.N. Zarutskaya.*

© Federal state budgetary institution of higher professional education
«Nosov Magnitogorsk State Technical University», 2014

Registration certificate PI № FS11-1157 on April 18, 2007

Issued by the Federal Service for Supervision of Legislation in Mass of Communication and Protection of Cultural Heritage in the Urals Federal District.

Founder – State Educational Institution «Nosov Magnitogorsk State Technical University» (455000, Chelyabinsk Region, Magnitogorsk, Lenin prospect, 38)

16+ in accordance with the Federal Law 29.12.10. №436-FL

Editorship address:

455000, Russia, city Magnitogorsk, Lenin prospect, 38

Phone number: (3519) 22-14-93. Fax: (3519)23-57-60

URL: <http://www.vestnik.magtu.ru>

E-mail: rio_magtu@mail.ru; vestnik@magtu.ru

Prepared for the publication by NMSTU publishing center
Printed in the Printing NMSTU Area

Signed for press 2014.20.03.

Order 175. Circulation – 1000 items. Free of charge.

СОДЕРЖАНИЕ

Колокольцев В.М. Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. История. Развитие	5
Гавришев С.Е., Калмыков В.Н., Бурмистров К.В., Томилина Н.Г., Заляднов В.Ю. Оценка эффективности схем вскрытия законтурных запасов с применением карьерных подъемников	7
Горбатова Е.А., Ожогоина Е.Г. Влияние микроструктур руд колчеданных месторождений на строение их хвостов обогащения	12
Бигеев В.А., Валиахметов А.Х., Йенер Бурак, Федянин А.Н. Опыт выплавки стали в сверхмощной дуговой печи с повышенным расходом твердого чугуна... 15	15
Колокольцев В.М., Конопка З., Петроченко Е.В. Структура и свойства белых чугунов разных систем легирования..... 19	19
Столяров А.М., Сомнат Басу, Потанова М.В., Дидович С.В. О способах воздействия на процесс формирования стальной непрерывнолитой заготовки	24
Колокольцев В.М., Вдовин К.Н., Савинов А.С., Синицкий Е.В. Температурные поля системы отливка–литейная форма в условиях неравновесной кристаллизации комплекснолегированных сплавов..... 28	28
Счастливец В.М., Яковлева И.Л., Концева Н.В., Ефимова Ю.Ю., Никитенко О.А. Закономерности структурообразования при термомеханических воздействиях в процессах производства высокопрочной арматуры	32
Сычков А.Б., Парусов В.В., Ивин Ю.А., Дзюба А.Ю., Зайцев Г.С. Особенности технологии производства высокоуглеродистой катанки	38
Чукин М.В., Голубчик Э.М., Гун Г.С., Концева Н.В., Ефимова Ю.Ю., Чукин Д.М., Матушкин А.Н. Исследование физико-механических свойств и структуры высокопрочных многофункциональных сплавов инварного класса нового поколения..... 43	43
Салганик В.М., Чикишев Д.Н., Денисов С.В., Полецков П.П., Румянцев М.И., Куницын Г.А. Развитие теории и технологии инновационных процессов прокатного производства..... 48	48
Гун И.Г., Михайловский И.А., Осипов Д.С., Куцендик В.И., Сальников В.В., Гун Е.И., Смирнов Ал.В., Смирнов Ар.В. Разработка, моделирование и совершенствование процессов производства шаровых шарниров автомобилей	52
Корчунов А.Г., Терещенко Н.А., Ефимова Ю.Ю., Дабала М., Долгий Д.К. Особенности изменения механических свойств холоднодеформированной эвтектидной стали при механотермической обработке..... 58	58
Голубчик Э.М. Адаптивное управление качеством металлопродукции..... 63	63
Чукин М.В., Тулупов О.Н., Кульков И.В., Моллер А.Б. Концепция международного промышленного сотрудничества стран БРИКС: развитие инжиниринга и инноваций в металлургии	69

CONTENTS

Kolokoltsev V.M. Nosov Magnitogorsk State Technical University. History. Development.....	5
Gavrishev S.E., Kalmykov V.N., Burmistrov K.V., Tomilina N.G., Zalyadnov V.Y. Performance evaluation of opening supplies schemes with the use of quarry lifts.....	7
Gorbatova E.A., Ozhogina E.G. The effect of ore microstructures of firestone deposits on their tailings structure	12
Bigeev V.A., Valiakhmedov A.Kh., Yener Burak, Fedyanin A.N. Steel smelting experience in the superpower arc furnace with firm cast iron raised consumption	15
Kolokoltsev V.M., Konopka Z., Petrochenko E.V. Structure and properties of white irons of different alloying systems.....	19
Stolyarov A.M., Somnath Basu, Potapova M.V., Didovich S.V. About the methods of impact on the steel continuous casting billet forming.....	24
Kolokoltsev V.M., Vdovin K.N., Savinov A.S., Sinitkiy E.V. Temperature fields of the casting – casting form system under unbalanced solidification conditions for complex alloyed steels	28
Schastlivtsev V.M., Yakovleva I.L., Konceva N.V., Efimov Y.Y., Nikitenko O.A. The structure formation regularities in thermal-deformational affecting in the high-strength reinforcement production.....	32
Sychkov A.B., Parusov V.V., Dziuba Y., Ivin Y., Zaitsev G.S. The features of high carbon wire rod manufacturing technique	38
Chukin M.V., Golubchik E.M., Gun G.S., Korceva N.V., Efimova Y.Y., Chukin D.M., Matushkin A.N. The study of physical and mechanical properties and structure of high-strength alloys of invar all-in-one-generation class	43
Salganik V.M., Chikishev D.N., Denisov S.V., Poletskov P.P., Rummyantsev M.I., Kunitsyn G.A. The development of innovation rolling process theory and technology.....	48
Gun I.G., Mikhailovskiy I.A., Osipov D.S., Kutsependik V.I., Salnikov V.V., Gun E.I., Smirnov Ar.V., Smirnov Al.V. The development, modeling and improvement of automotive ball joints manufacturing processes.....	52
Korchunov A.G., Tereshchenko N.A., Efimova Y.Y., Dabala M., Dolgiy D.K. Features of changes in mechanical properties of cold-worked eutectoid steel in mechano-thermal processing.....	58
Golubchik E.M. Adaptive control of metal products quality	63
Chukin M.V., Tulupov O.N., Kulkov I.V., Moller A.B. Strategic vision of International industrial collaboration of the BRICS: the development of engineering and innovations in steel industry.....	69

<i>Белов В.К., Беглецов Д.О., Губарев Е.В., Денисов С.В., Дьякова М.В., Смирнов К.В.</i> Особенности использования 3D топографических характеристик поверхности в инженерном деле.....	<i>Belov V.K., Begletsov D.O., Gubarev E.V., Denisov S.V., Djakova M.V., Smirnov K.V.</i> The use of 3D topographic characteristics of surfaces in engineering.....	73	73
<i>Тулупов О.Н., Моллер А.Б., Нигрис Дж., Чукин М.В., Кинзин Д.И.</i> Гибкие решения в технологии и подготовке кадров: позитивный опыт сотрудничества с компанией Danieli.....	<i>Tulupov O.N., Moller A.B., Nigris G., Chukin M.V., Kinzin D.I.</i> Flexible solutions in technology and personnel training: positive collaboration experiences with Danieli.....	81	81
<i>Песин А.М., Дья Х., Кавалек А., Сзыинский П., Пустовойтов Д.О., Сатонин А.В., Чуруканов А.С.</i> Исследование влияния скоростной асимметрии на параметры различных процессов листовой прокатки.....	<i>Pesin A.M., Dyja H., Kawalek A. Szyinski P., Pustovoitov D.O., Satonin A.V., Churukanov A.S.</i> The investigation of speed asymmetry effect on parameters of various sheet rolling processes.....	86	86
<i>Гун Г.С., Мезин И.Ю., Рубин Г.Ш., Минаев А.А., Назайбеков А.Б., Дья Х.</i> Генезис научных исследований в области качества металлопродукции.....	<i>Gun G.S., Mezin I.Yu., Rubin G.Sh., Minayev A.A., Nazaybekov A.B., Dyja H.</i> The research genesis in the field of metal products quality.....	92	92
<i>Рубин Г.Ш., Полякова М.А.</i> Развитие научных основ стандартизации.....	<i>Rubin G.Sh., Polyakova M.A.</i> Development of standartization fundamentals.....	97	97
<i>Гитман М.Б., Пустовойт К.С., Столбов В.Ю., Федосеев С.А., Гун Г.С.</i> Концептуальная модель ситуационного центра промышленного предприятия.....	<i>Gitman M.B., Pustovoit K.S., Stolbov V.Y., Fedoseev S.A., Gun G.S.</i> The conceptual model of the situational center of the industrial enterprise.....	102	102
<i>Гладских В.И., Дробный О.Ф., Ласьков С.А., Черчинцев В.Д.</i> Совершенствование систем промышленной и экологической безопасности ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» как обязательное условие его устойчивого развития.....	<i>Gladskikh V.I., Drobny O.F., Las'kov S.A., Cherchintsev V.D.</i> Modernization of industrial and ecological safety systems at OJSC Magnitogorsk Iron and Steel Works as an obligatory condition for sustainable development.....	107	107
<i>Платов С.И., Огарков Н.Н., Терентьев Д.В., Железков О.С., Рубаник В.В., Вассал Ж.-П.</i> Развитие теории и технологии проектирования машин, агрегатов и инструмента в процессах обработки давлением и резания.....	<i>Platov S.I., Ogarkov N.N., Terentyev D.V., Zhelezkov O.S., Rubanik V.V., Vassal J.-P.</i> The theory and technology development for machinery, aggregates and tools designing in pressure and cutting processing.....	112	112
<i>Рахмангулов А.Н., Корнилов С.Н., Кольга А.Д.</i> Обеспечение своевременности грузовых перевозок в транспортно-технологических системах.....	<i>Rakhmangulov A.N., Kornilov S.N., Kolga A.D.</i> Timeliness of freight traffic in transport technological systems.....	115	115
<i>Андреев С.М., Парсункин Б.Н., Ахметов Т.У.</i> Разработка и исследование работы системы энергосберегающего управления нагревом заготовок в методических печах листопрокатных станов.....	<i>Andreev S.M., Parsunkin B.N., Akhmetov T.U.</i> The development and investigation of billet heating energy saving control system in sheet mill reheating furnaces.....	122	122
<i>Лукьянов С.И., Карандаев А.С., Евдокимов С.А., Сарваров А.С., Петушков М.Ю., Храмшин В.Р.</i> Разработка и внедрение интеллектуальных систем диагностирования технического состояния электрического оборудования.....	<i>Lukyanov S.I., Karandaev A.S., Evdokimov S.A., Sarvarov A.S., Petushkov M.Yu., Khramshin V.R.</i> The development and implementation of intelligent systems for electrical equipment state diagnostics.....	129	129
<i>Кришан А.Л., Кришан М.А., Сабиров Р.Р.</i> Перспективы применения трубобетонных колонн на строительных объектах России.....	<i>Krishan A.L., Krishan M.A., Sabirov R.R.</i> Perspectives to apply concrete filled steel tube columns in construction projects of Russia.....	137	137
<i>Анцупов В.П., Дворников Л.Т., Громаковский Д.Г., Анцупов А.В. (мл.), Анцупов А.В.</i> Основы физической теории надежности деталей машин по критериям кинетической прочности материалов.....	<i>Antsupov V.P., Dvornikov L.T., Gromakovskii D.G., Antsupov A.V. (jun.), Antsupov A.V.</i> Fundamentals of physical theories reliability of machine parts on criteria kinetic strength of materials.....	141	141
<i>Гринберг Р.С., Журавин С.Г., Немцев В.Н.</i> Новая парадигма научных исследований в условиях реализации инновационной стратегии.....	<i>Grinberg R.S., Zhuravin S.G., Nemtsev V.N.</i> The new scientific investigate paradigm under innovatory strategy implementation.....	147	147
Сведения об авторах	The information about the authors	153	153

УДК 378.4

МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Г.И. НОСОВА. ИСТОРИЯ. РАЗВИТИЕ

Колокольцев В.М.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, ректор, Россия

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, один из ведущих вузов России, награжден в 1984 г. орденом Трудового Красного Знамени, в 2009 г. получил благодарность Президента Российской Федерации. Университет осуществляет свою деятельность на основе национальной доктрины развития образования с опорой на опыт и достижения за 80-летнюю историю развития, на научно-педагогические школы, сформировавшиеся в университете за этот период.

Базовые принципы развития университета:

– Единство традиций и новаторства, дальнейшее развитие и создание новых научно-педагогических школ, укрепление интеллектуального и кадрового потенциала университета.

– Высокое качество научно-образовательной деятельности и ее соответствие стандартам, сопоставимым с уровнем ведущих мировых университетов и отвечающим потребностям современного общества и экономики России.

– Устойчивое материально-техническое и социально-экономическое развитие университета, направленное на обеспечение благоприятных условий для продуктивной и качественной деятельности всего коллектива.

– Активное распространение результатов своей деятельности в российском образовательном, научном и бизнес-сообществах; формирование имиджа МГТУ как передового научно-образовательного центра.

– Информационная открытость по отношению как к внешней среде, так и к коллективу университета.

Целью программы, разработанной и реализуемой в университете до 2017 года, является модернизация и развитие технического университета до уровня инновационного исследовательского университета нового типа, интегрирующего передовые образовательные технологии и высокотехнологические научные исследования, имеющего тесные связи, основанные на совместной подготовке кадров с инновационными предприятиями, научными и исследовательскими организациями.

Научные исследования, проводимые в университете, по уровню и направлениям отражают тенденции развития мировой науки и техники, соответствуют профилю подготовки специалистов. Они направлены на решение актуальных фундаментальных и прикладных проблем в области металлургии, машиностроения, горного дела, энергетики, строительства, транспортных наук, химии, автоматики и телемеханики, вычислительной техники, экономики и управления, качества продукции, экологии и ведутся в рамках 14 научных направлений, утвержденных ученым советом.

Руководство вуза всегда уделяло особое внимание

научной работе, понимая, что без исследовательской деятельности нельзя подготовить высококлассного специалиста. Заметно усилилась научно-исследовательская работа в предвоенные годы. Только в 1940 году из госбюджета на исследовательские работы было израсходовано 22 тыс. руб. и по хозяйственным договорам 25,9 тыс. руб., по тем временам это были внушительные суммы. 15 июня 1941 года вышел первый сборник научных трудов под редакцией зам. директора по научной и учебной работе Г.Ф. Дегтева. Среди первых авторов – П.А. Слесарев, М.И. Бояршинов, П.Д. Корж, П.В. Журавлев, Н.Н. Лапин и др.

За годы войны в институте выполнено 204 исследовательские работы, что составило 72,4% от всех работ, выполненных в вузе за 1932-1947 гг. Руководство страны высоко оценило труд ученых; указом Президиума Верховного Совета СССР «за успешное выполнение заданий Государственного комитета обороны по наращиванию мощностей, освоению выплавки новых марок сталей и увеличению производства металла для оборонной промышленности» ММК был награжден орденом Трудового Красного Знамени, а разными правительственными наградами отмечена большая группа студентов (54 чел.), преподавателей и сотрудников (69 чел.) МГТУ, среди которых А.А. Безденежных, М.И. Бояршинов, С.И. Гурарий, Г.М. Заморюев, К.А. Зуц, Н.Н. Лапин, В.М. Огиевский, М.Б. Пинский, П.А. Слесарев, Б.Г. Шварцбург и др.

В первые же дни войны для оборонной промышленности потребовалась в большом количестве сталь для снарядов и брони танков. Директор меткомбината Г.И. Носов лично обратился к ученым института с просьбой помочь организовать производство танковой брони. На ММК было создано «броневое бюро», в котором видную роль сыграли ученые нашего института: А.А. Безденежных (начальник мартеновской группы); М.И. Бояршинов (начальник прокатного сектора); Г.М. Заморюев (зам. начальника термического сектора). М.И. Бояршинов консультировал и помогал реализовать смелую идею зам. главного механика ММК Н.А. Рыженко о прокатке брони на обычном блюминге, благодаря чему еще до прибытия специализированного броневое стана с юга страны комбинат на два месяца раньше дал танковым заводам магнитогорскую броню. Каждый второй танк и третий снаряд из магнитогорской стали – славная история научной школы Магнитогорского металлургического комбината и Магнитогорского горно-металлургического института, которая всегда была едина и занималась решением крупных научно-практических и актуальных проблем реального производства, чем принципиально отличалась от столичных научных школ.

Широко известна и получила мировое признание также научная школа магнитогорских калибровщиков, среди которых такие имена, как Б.П. Бахтинов, М.М. Штернов, В.П. Полушкин, В.А. Курдюмова, Н.Ф. Грицук и многие другие выпускники вуза, защитившие кандидатские диссертации в стенах МГМИ и поднявшие уровень науки калибровки до мировых критериев.

Особенностью деятельности МГТУ им. Г.И. Носова является тесная связь с производством. Базовое предприятие университета – ОАО «ММК» в составе инженерного корпуса имеет 95% наших выпускников. Свыше 100 специалистов ОАО «ММК» защитили докторские и кандидатские диссертации в советах нашего вуза, решая актуальные проблемы производства.

Поэтому основные научные школы МГТУ кроме фундаментальных имеют значительную долю прикладных исследований.

В последние годы наш университет сделал мощный прорыв в приоритетных направлениях отечественной науки.

Выиграна и реализуется с 2012 г. программа стратегического развития «Создание научно-образовательного инженерного кластера металлургической промышленности Уральского федерального округа», вошедшая по итогам конкурсного отбора Министерства образования и науки Российской Федерации в число 55 программ вузов-победителей (объем финансирования – 300 млн руб.).

Реализуются проекты с ОАО «ММК–МЕТИЗ» и ОАО «Мотовилихинские заводы» – победителями конкурсов на право получения субсидий для создания высокотехнологичного производства (в соответствии с постановлением Правительства РФ от 9 апреля 2010 г., №218), общий объем финансирования – 656 млн руб.

МГТУ – победитель конкурса программ развития инновационной инфраструктуры (в соответствии с постановлением Правительства РФ от 9 апреля 2010 г., №219) с программой «Формирование функционально полной, научно-образовательной, инновационной инфраструктуры МГТУ им. Г.И. Носова за счет создания технопарка, обеспечивающей эффективную системную поддержку малого инновационного предпринимательства в сферах нанотехнологий и наноматериалов, новых материалов и энерго- и ресурсосбережения», объем финансирования – 74,6 млн руб.

За последние годы отмечается повышение активности ученых вуза по выполнению исследований в рамках Федеральных целевых программ, постановлений Правительства РФ. На выполнение научно-исследовательских работ в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. между МГТУ и Минобрнауки РФ заключены 22 госконтракта и 7 соглашений по мероприятиям: «Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров» (4 госконтракта и 2 соглашения); «Проведение научных исследований научными группами под руководством докторов наук» (4 госконтракта); «Проведение научных исследований целевыми аспирантами» (10 госконтрактов); «Проведение научных исследований научными группами под руководством

кандидатов наук» (2 госконтракта и 2 соглашения); «Проведение исследований молодыми учеными – кандидатами наук» (1 госконтракт и 2 соглашения); «Поддержка внутрироссийской мобильности научных и научно-педагогических кадров» (1 соглашение).

На базе признанных в России научных школ в университете успешно осуществляется подготовка научно-педагогических работников. Молодые ученые вуза, развивая собственные научные исследования, показывают высокую профессиональную пригодность, проявляя при этом незаурядные творческие способности. Молодые ученые вуза являются лауреатами премии Правительства РФ 2011 года в области науки и техники; победителями конкурса «Изобретатель Южного Урала» в номинации «Самый молодой изобретатель», 2010, 2011 гг.; победителями конкурса научных работ при поддержке Фонда подготовки кадрового резерва «Государственный клуб», 2010 г.; являются победителями гранта областного конкурса НИР студентов, аспирантов и молодых ученых вузов, расположенных на территории Челябинской области, 2011, 2012 гг. Молодые кадры МГТУ – лауреаты Национального конкурса инновационных проектов «100 молодых инновационных лидеров России» в номинации «Сервис и коммуникация», 2011 г.; в числе лауреатов Всероссийского конкурса «Инженер года», 2013 г.

Научно-исследовательскую работу студентов координирует Молодежный научный центр. Более 50 научно-исследовательских работ студентов вуза ежегодно отмечаются дипломами, почетными грамотами международных, всероссийских и региональных чемпионатов, олимпиад, различных конкурсов студенческих работ. В 2010–2013 гг. студенты вуза проявили свою компетентность и научную самореализацию по всем направлениям (специальностям) подготовки в вузе. Студенты МГТУ – дипломанты конкурса дипломных проектов, дипломных работ и магистерских диссертаций в области металлургии и материаловедения, математических методов в экономике; Международного научного симпозиума студентов, аспирантов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоение недр»; 15-й Международной специализированной выставки пластмасс и каучука «Интерпластика – 2012»; 16-й Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика»; Всероссийской студенческой научно-практической конференции «Безопасность. Технологии. Инновации»; Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Пищевые продукты и здоровье человека» и многих других.

Названные научные победы и ряд других позволили создать современную материально-техническую исследовательскую базу, без чего невозможны серьезные результаты мирового уровня.

Магнитогорский государственный технический университет прошел в 2013 году государственную аккредитацию и дважды подтвердил статус эффективно-го высшего учебного заведения, что позволяет нам с оптимизмом смотреть в будущее и качественно готовить специалистов на уровне мировых требований.

От редакции

Научная школа МГТУ им. Г.И. Носова «Развитие теории комбинированной геотехнологии при разработке природных и техногенных ресурсов» хорошо известна мировой научной общественности.

В Институте горного дела и транспорта Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова совместно с Институтом проблем комплексного освоения недр Российской академии наук ведутся исследования по созданию эффективных технологий комбинированной разработки природных и техногенных георесурсов. За работу «Разработка и промышленная реализация комбинированных технологий комплексного освоения медно-колчеданных месторождений Урала» коллектив авторов: член-корреспондент РАН, д-р техн. наук, проф. Каплунов Д.Р. (ИПКОН РАН, г. Москва), д-р техн. наук, проф. Калмыков В.Н. (МГТУ, г. Магнитогорск), д-р техн. наук, проф. Рыльникова М.В. (ИПКОН РАН, г. Москва) и др. удостоены премии Правительства РФ в области науки и техники.

Дальнейшие исследования по созданию схем вскрытия законтурных запасов подземными выработками, пройденными с борта карьера, позволяют за счет использования существующих карьерных коммуникаций и транспортного оборудования для подземных горных работ повысить эффективность отработки законтурных запасов подземным способом.

УДК 622.271.326:622.673

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СХЕМ ВСКРЫТИЯ ЗАКОНТУРНЫХ ЗАПАСОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ КАРЬЕРНЫХ ПОДЪЕМНИКОВ

Гавришев С.Е., Калмыков В.Н., Бурмистров К.В., Томилина Н.Г., Заляднов В.Ю.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

Аннотация. В статье предложена модель оценки эффективности схем вскрытия законтурных запасов наклонным съездом, пройденным с борта карьера с транспортированием рудной массы по карьерным подъемникам. Строительство подземного рудника из карьерного пространства сокращает сроки строительства и объем капитальных вложений, транспортирование рудной массы из шахты по карьерному подъемнику минимизирует эксплуатационные расходы на подъем. Данные факторы позволяют значительно снизить себестоимость добычи рудной массы, вследствие чего повышается эффективность отработки законтурных запасов по сравнению с традиционным способом вскрытия посредством вертикальных стволов с поверхности. При небольшой глубине залегания рудного тела рассмотренные технологические схемы позволяют избежать вскрытия законтурных запасов с поверхности и расширить область применения схем вскрытия из карьерного пространства с применением карьерных подъемников, установленную предшествующими исследованиями.

Ключевые слова: комбинированный открыто-подземный способ разработки, технологические схемы, конвейерный подъемник, скиповый подъемник, стоимость транспортирования.

Введение

Разработка запасов нижних горизонтов карьера и последующая подземная разработка законтурных запасов связана с капиталоемким и трудоемким процессом строительства транспортных коммуникаций для обеспечения связи рабочих горизонтов с поверхностью, который впоследствии формирует высокую себестоимость подземной добычи рудной массы. Целесообразность и экономическая эффективность комбинированной разработки месторождений во многом будет определяться схемами вскрытия месторождения при открытом и подземном способе разработки, а также транспортным взаимодействием данных схем.

Вскрытие законтурных запасов рудовыдачным наклонным съездом или штольной, пройденными с борта карьера, по сравнению с традиционной схемой вскрытия вертикальными стволами с поверхности позволяет сократить срок строительства подземного рудника, снизить затраты на подъем рудной массы

на поверхность, а также избежать применения сложного горнопроходческого оборудования. Последними исследованиями [1, 2] доказана целесообразность применения крутонаклонных подъемников в карьерах, позволяющая минимизировать затраты на транспортирование горной массы при доработке месторождения открытым способом и использования в дальнейшем при подземной разработке месторождения. Однако в данных работах не выполнялись исследования области эффективного применения технологических схем транспортирования рудной массы из шахты по карьерному подъемнику в сопоставлении с традиционным способом вскрытия законтурных запасов с транспортированием по вертикальным рудовыдачным стволам. Поэтому целью исследований является установление максимальной производительной мощности рудника и глубины залегания рудного тела, при которых рассматриваемые технологические схемы вскрытия и транспортирования будут эффективны.

1. Экономико-математическая модель расчета эффективности схемы на основе базовых технологических схем применения карьерных подъемников при вскрытии законтурных запасов

Рассматриваемые варианты вскрытия законтурных запасов отличаются объемом капитальных вложений и эксплуатационными затратами на добычу рудной массы. Эксплуатационные затраты складываются из затрат по себестоимости системы разработки, стоимости перемещения рудной массы на поверхность и амортизации специализированных основных средств. Для всех сравниваемых вариантов принята одинаковая система подземной разработки месторождения, поэтому эксплуатационные затраты будут отличаться по статье затрат на перемещение рудной массы на поверхность и амортизационным отчислениям по специализированным основным средствам (горно-капитальным выработкам).

Объектом исследований является крутопадающее глубокозалегающее месторождение, обрабатываемое комбинированным открыто-подземным способом.

Исследования проводились для четырех схем размещения карьерных подъемников (рис. 1) [3-6].

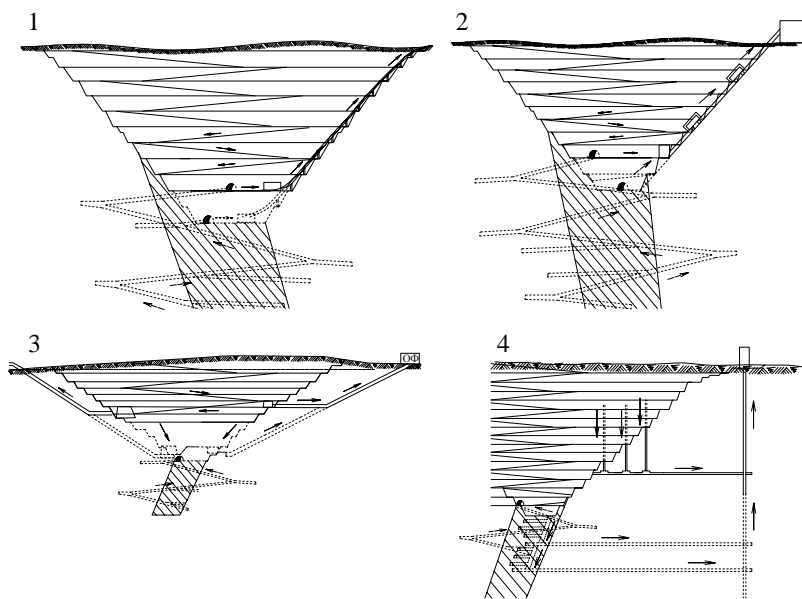


Рис. 1. Базовые схемы размещения карьерных подъемников:
 1 – крутонаклонный конвейерный подъемник на борту карьера;
 2 – скиповой подъемник на борту карьера; 3 – конвейер, расположенный в наклонном стволе; 4 – скиповой подъемник, расположенный в вертикальном стволе

Оценка эффективности способов вскрытия законтурных запасов выполнена для приконтурных и удаленных от контура карьера запасов, вскрытых

наклонным съездом или штольной, пройденными с борта карьера, и традиционным способом – вертикальным стволом с поверхности. Запасы, расположенные в бортах карьера, вскрываются штольной. Запасы, расположенные ниже уровня дна карьера, вскрываются наклонным съездом (рис. 2) [7].

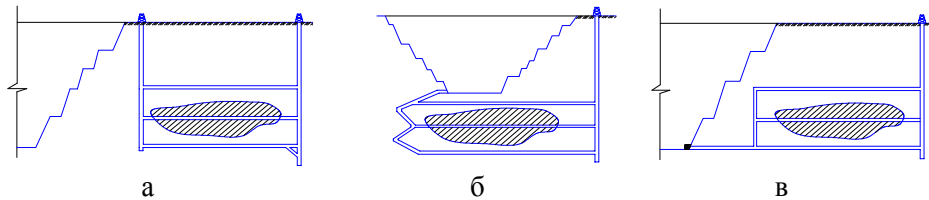


Рис. 2. Типовые схемы вскрытия удаленных от контура карьера запасов:
 а – штольной из карьера; б – наклонным стволом из карьера;
 в – скиповым стволом с поверхности

В качестве целевой функции принята разность затрат на транспортирование рудной массы с амортизацией ГКВ:

$$\Theta = S_1 - S_2 \rightarrow \max \text{ или } S_2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

где S_1, S_2 – стоимость транспортирования 1 т рудной массы на поверхность с амортизацией ГКВ при традиционном способе вскрытия законтурных запасов и при вскрытии наклонным съездом или штольной с борта карьера соответственно, руб./т.

При отрицательной разнице между стоимостями транспортирования с амортизацией ГКВ в рассматриваемых вариантах вскрытия законтурных запасов целесообразно производить традиционным способом – шахтным стволом с поверхности.

Стоимость транспортирования 1 т рудной массы на поверхность с амортизацией ГКВ при вскрытии наклонным съездом S_2 складывается из стоимости транспортирования подземными автосамосвалами по подземному рудовыдачному съезду с амортизацией ГКВ и карьерному подъемнику:

$$S_2 = \frac{S_{ПА} + S_{КП}}{Q_{и}}, \quad (2)$$

где $S_{ПА}$ – затраты на транспортирование рудной массы подземными автосамосвалами по наклонному съезду с амортизацией ГКВ, руб.; $S_{КП}$ – затраты на транспортирование рудной массы по карьерному подъемнику, руб.

Затраты на транспортирование рудной массы по технологическим схемам будут зависеть от типа и расположения подъемника [8-13]. При этом в расчетах не учитываются затраты на

амортизацию подъемников, поскольку капитальные вложения на их строительство окупаются в период открытых горных работ [1].

Сравнение затрат на подъем рудной массы на поверхность по четвертой технологической схеме производится с вариантом углубки шахтных стволов. Затраты на подъем рудной массы скиповым подъемником в вертикальном стволе рассчитываются аналогично традиционной схеме без учета амортизационных отчислений по зданиям и сооружениям поверхностного комплекса. Стоимость углубки вертикального ствола примерно в полтора раза дороже проходки ствола. Это связано с тем, что углубка производится в стесненных условиях с использованием подъемных сосудов и грейферных грузчиков меньшей вместимости, чем при проходке ствола. Углубку можно вести в условиях эксплуатации подъема в стволе по выдате горной массы с дорабатываемых горизонтов карьера.

Также рассматривался вариант транспортирования рудной массы на поверхность карьерными самосвалами – технологическая схема 5 (рис.3). Перегрузочный пункт предусматривался вблизи портала наклонного съезда с экскаваторной перегрузкой.

2. Определение области применения схем вскрытия законтурных запасов с применением карьерных подъемников

По результатам исследований, полученных с помощью предложенной экономико-математической модели, построены зависимости стоимости подъема 1 т рудной массы с амортизацией ГКР от производственной мощности шахты по вариантам перемещения на поверхность при глубине подъема из шахты 1000 м (рис. 3).

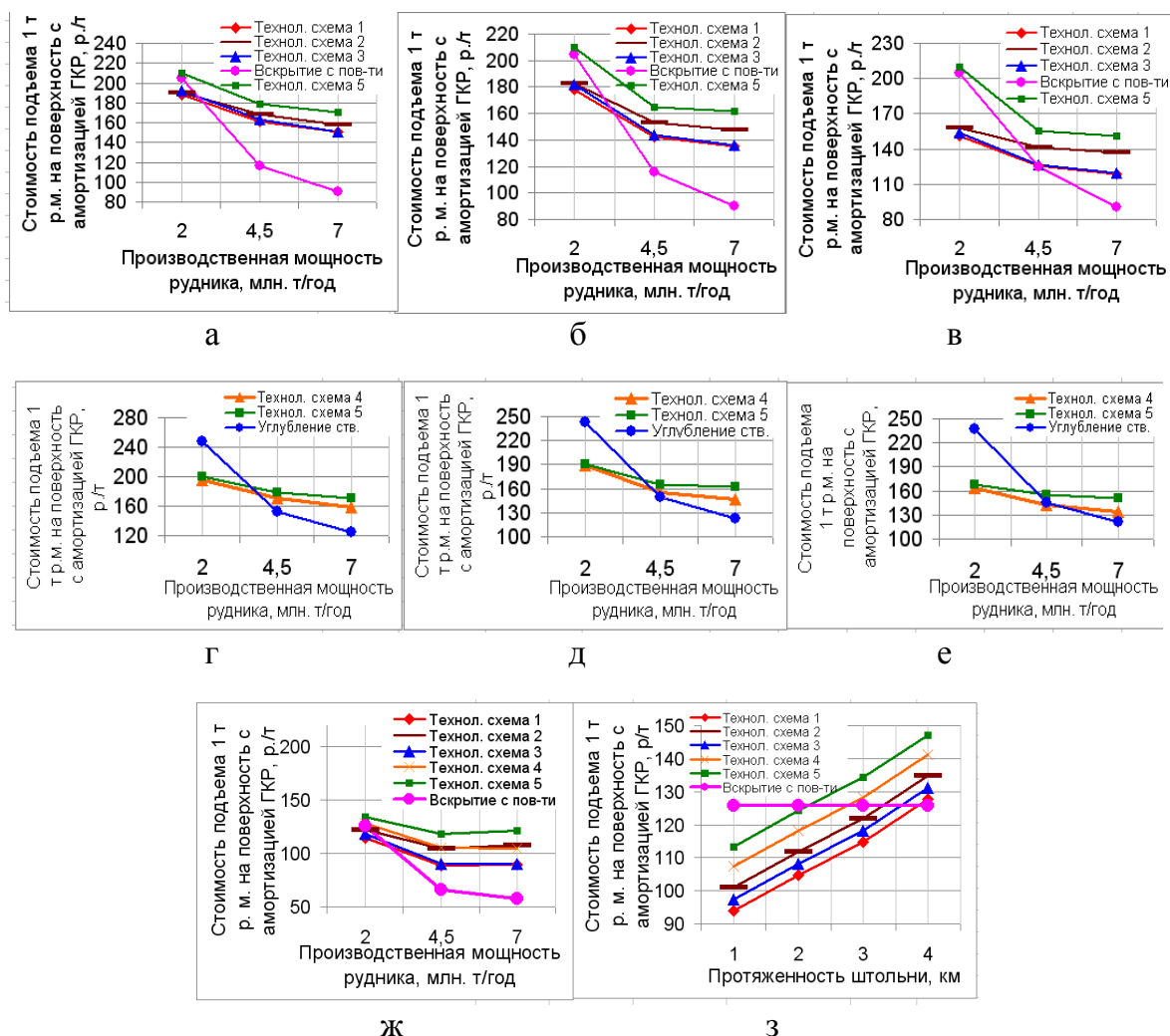


Рис. 3. Зависимость затрат на транспортирование рудной массы с амортизацией ГКР от производственной мощности шахты по вариантам перемещения на поверхность при глубине подъема из шахты 1000 м и при глубине расположения перегрузочного пункта в карьере: а, г – 200 м; б, д – 300 м; в, е – 400 м

На основе выполненных исследований установлено, что при вскрытии горизонтов карьера крутыми траншеями или наклонными конвейерными стволами и квершлагами вскрытие законтурных запасов, залегающих на глубине до 1000 м, из карьерного пространства с помощью наклонных съездов с транспортированием рудной массы по карьерному подъемнику целесообразно при:

– глубине расположения перегрузочного пункта в карьере 200 м и производственной мощности рудника до 2,5 млн т/год;

– глубине расположения перегрузочного пункта в карьере 300 м и производственной мощности рудника до 3 млн т/год;

– глубине расположения перегрузочного пункта в карьере 400 м и производственной мощности рудника до 4,5 млн т/год. При большей производственной мощности рудника целесообразно вскрытие вертикальными стволами с поверхности (рис. 3, а, б, в).

При вскрытии горизонтов карьера вертикальными стволами и квершлагами при глубине расположения запасов до 1000 м и производственной мощности рудника до 4,5 млн т/год целесообразно вскрытие из карьерного пространства с помощью наклонных съездов с транспортированием рудной массы по вертикальному подъемнику. При большей производственной мощности рудника целесообразно углубление существующих шахтных стволов (рис. 3, г, д, е).

При расположении удаленных запасов в бортах карьера на расстоянии до 4 км эффективно вскрытие штольней с транспортированием рудной массы по карьерному подъемнику, при большем удалении – вертикальными стволами с поверхности.

Ранее выполненными исследованиями было установлено [7]:

1) при глубине расположения запасов ниже дна карьера до 200 м более экономичным является их вскрытие из карьерного пространства с помощью штолен и наклонных съездов или стволов, при большей глубине распространения запасов предпочтительнее традиционный способ вскрытия посредством вертикальных стволов с поверхности;

2) в случае удаления запасов от поверхности откоса борта на расстоянии до 2 км целесообразно вскрытие штольнями из карьера, при большем удалении – вертикальными стволами с поверхности.

Заключение

Таким образом, полученные результаты исследований позволяют расширить область применения схем вскрытия законтурных запасов подземными выработками, пройденными с борта карьера с дальнейшим транспортированием рудной массы по карьерным подъемникам; применить существующее карьерное транспортирующее оборудование для целей подземных горных работ; повысить эффективность отработки законтурных запасов подземным способом. При небольшой глубине залегания рудного тела месторождения обрабатывается без строительства вертикальных стволов с поверхности.

Список литературы

1. Санакулов К.С., Шеметов П.А. Развитие циклично-поточной технологии на основе крутонаклонных конвейеров в глубоких карьерах // Горный журнал. 2011. №8. С. 34-37.
2. Яковлев В.Л. Перспективные решения в области циклично-поточной технологии глубоких карьеров // Горный журнал. 2003. №4-5. С. 51-56.
3. Обоснование факторов, обуславливающих применение крутонаклонных подъемников при комбинированном способе разработки месторождений / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, Н. Г. Томила // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. №4. С. 5-10.
4. Гавришев С.Е., Бурмистров К.В., Томила Н.Г. Классификация технологических схем вскрытия глубоких горизонтов с применением крутонаклонных подъемников при комбинированном способе разработки месторождений // Изв. вузов. Горный журнал. 2013. №7. С. 9-15.
5. Гавришев С.Е., Бурмистров К.В., Томила Н.Г. Обоснование технологической схемы вскрытия глубоких горизонтов карьеров с применением крутонаклонных подъемников при комбинированном способе разработки месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. №4. С. 108-115.
6. Применение ресурсосберегающих технологических схем транспортирования горной массы на заключительных этапах открытых горных работ / С.Е. Гавришев, К.В. Бурмистров, Н. Г. Томила, В.А. Кидяев // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2013. №3. С. 168-179.
7. Рыльникова М.В., Калмыков В.Н., Ивашов Н.А. Эффективные схемы вскрытия и комбинированной отработки рудных месторождений // Недропользование: XXI век. 2007. №2. С. 52-54.
8. Высокопроизводительные глубокие карьеры / Новожилов М.Г., Дриженко А.Ю., Маевский А.М. и др. М.: Недра, 1984. 188 с.
9. Ленточные конвейеры в горной промышленности / Дьяков В.А., Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. и др. М.: Недра, 1982. 349 с.
10. Ромакин Н.Е. Конструкция и расчет конвейеров: справочник. Старый Оскол: ТНТ, 2012. 504 с.
11. Кириченко А.И., Картавый А.Н. Крутонаклонный конвейер КНК-270 для Навойского ГМК // Горная промышленность. 2010. №2. С. 71-75.
12. Яковлев В.Л., Смирнов В.П., Берсенов В.А. Устройство дробильно-конвейерных комплексов на глубоких карьерах. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 42 с.
13. Моссаковский Я.В. Экономика горной промышленности. М.: Изд-во МГТУ, 2006. 525 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

PERFORMANCE EVALUATION OF OPENING SUPPLIES SCHEMES WITH THE USE OF QUARRY LIFTS

Gavrishev Sergey Evgenyevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Director of the Institute of Mining Engineering and Transport, Head of Open-Pit Mining of Mineral Deposits department, Mining Engineering and Transport Institute, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519) 29-85-75. E-mail: ormpi-cg@mail.ru.

Kalmykov Vyacheslav Nikolaevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Head of Underground Mining of Mineral Deposits department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519) 29-84-61.

Burmistrov Konstantin Vladimirovich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519) 29-85-56. E-mail: burmistrov_kv@mail.ru.

Tomilina Nuriya Gumarovna – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519) 29-84-16. E-mail: t.nuria@yandex.ru.

Zalyadnov Vadim Yuryevich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519) 29-85-56.

Abstract. A model of performance evaluation of supplies development schemes by ramp with the transportation of ore with quarry lifts is suggested in the paper. The construction of the underground mine from the open pit space reduces the construction time and capital investments, ore transportation from the mine with the quarry lifts minimizing operating costs on the rise. These factors can significantly reduce the cost of extracting the ore mass, thereby increasing the effectiveness of mining stocks compared with the traditional way of opening through vertical shafts from the surface. With a small depth of the ore body engineering schemes considered allow to avoid supplies development from the surface and extend the scope of development schemes from the pit area using lifts installed by previous studies.

Keywords: combined open-underground mining method, engineering schemes, conveyor, skip, the transportation cost.

References

1. Sanakulov K.S., Shemetov P.A. Razvitiie tsiklichno-potochnoy tekhnologii na osnove krutonaklonnykh konveyerov v glubokikh karyerakh [Development of cyclic-flow technology based on steeply inclined conveyors in deep open pits]. *Gornyy zhurnal* [Mining Journal], 2011, no. 8, pp. 34-37.
2. Yakovlev V.L. Perspektivnye resheniya v oblasti tsiklichno-potochnoy tekhnologii glubokikh kariyer [Promising solutions in the field of cyclic-flow technology of deep open pits]. *Gornyy zhurnal* [Mining Journal], 2003, no. 4-5, pp. 51-56.
3. Gavrishev S.E., Burmistrov K.V., Tomilina N.G. Obosnovanie faktorov, obuslovlivayushchikh primeneniye krutonaklonnykh pod'yemnikov pri kombinirovannom sposobe razrabotki mestorozhdeniy [Justification of the factors contributing to the use of steeply inclined lifts in the combined method of field development]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2012, no. 4, pp. 5-10.
4. Gavrishev S.E., Burmistrov K.V., Tomilina N.G. Klassifikatsiya tekhnologicheskikh skhem vskrytiya glubokikh gorizontov s primeneniem krutona-
klonnykh pod'yemnikov pri kombinirovannom sposobe razrabotki mestorozhdeniy [Classification of technological circuits of opening of deep layers using steeply inclined lifts or combined mining method]. *Izvestiya vyschykh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal* [Proceedings of the Higher Educational Institutions. Mining Journal], 2013, no. 7, pp. 9-15.
5. Gavrishev S.E., Burmistrov K.V., Tomilina N.G. Obosnovanie tekhnologicheskoy skhemy vskrytiya glubokikh gorizontov karyerov s primeneniem krutonaklonnykh pod'yemnikov pri kombinirovannom sposobe razrabotki mestorozhdeniya [Justification of the technological scheme of opening of deep horizons of quarries with the use of high-angle lifts in the combined method of field development]. *Gornyy informatsionno-analicheskyy bulletin (nauchno-tekhnicheskyy zhurnal)* [Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)], 2013, no. 4, pp. 108-115.
6. Gavrishev S.E., Burmistrov K.V., Tomilina N.G., Kidyayev V.A. *Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii* [Modern problems of transport complex of Russia]. Magnitogorsk, 2013, pp. 168-179.
7. Rylnikova M.V., Kalmykov V.N., Ivashov N.A. Effektivnyye skhemy vskrytiya i kombinirovannoy otrabotki rudnykh mestorozhdeniy [Effective Opening Scheme and of Combined Mining Deposits Ore]. *Nedropolzovanie: XXI vek* [Use of subsurface: XXI century], 2007, no. 2, pp. 52-54.
8. Novozhilov M.G., Drizhenko A.U., Maevskiy A.M. and others, Under. ed. Novozhilov M.G. *Vysokoproizvoditelnye glubokie karyery* [High Performance Deep Pits]. Moscow, 1984, 188 p.
9. Dyakov V.A., Shakhmeyster L.G., Dmitriev V.G. and others. *Lentochnyye konveyery v gornoy promyshlennosti* [Belt Conveyors in Mining]. Moscow, 1982, 349 p.
10. Romakin N.E. *Konstruktsiya i raschet konveyerov* [Design and Calculation of Conveyors]. Stary Oskol, 2012, 504 p.
11. Kirichenko A.I., Kartavy A.N. Krutonaklonnyy konveyer KNK-270 dlya Navoiyskogo GMK [Steeply inclined conveyor for Navoiysk MMC]. *Gornaya promyshlennost* [Mining Industry], 2010, no.2, pp. 71-75.
12. Yakovlev V.L., Smirnov V.P., Bersenev V.A. *Ustroystvo drobilno-konveyemykh kompleksov na glubokikh karyerakh* [Device of crushing and conveyor systems in deep pits]. Yekaterinburg, 2003, 42 p.
13. Mossakovskiy Ya.V. *Ekonomika gornoy promyshlennosti* [Economics of mining industry]. Moscow, 2006, 525 p.

От редакции

В МГТУ им. Г.И. Носова в течение 5 лет по инициативе ректора реализуется проект поддержки соискателей ученых степеней доктора наук. Приказом ректора ежегодно формируются три группы соискателей различной степени готовности; осуществляется контроль и поддержка соискателей.

Организован постоянно действующий семинар докторантов, помогающий осмыслить идеи, концепции, новизну диссертаций. За 5 лет выход докторантов на защиту составил 36%. Ярким свидетельством эффективности созданной системы подготовки докторантов является успешная защита докторской диссертации заведующей кафедрой маркшейдерского дела и геологии МГТУ – Горбатовой Е.А., посвященной минерально-технологической оценке отходов обогатительного передела колчеданных руд Южного Урала.

В 1985 г. в МГТУ был создан первый среди вузов Южного Урала геологический музей, в его коллекции свыше 2000 образцов минералов, горных пород и полезных ископаемых, собранных в разных регионах России.

УДК 622.7.016.3:622.17

ВЛИЯНИЕ МИКРОСТРУКТУР РУД КОЛЧЕДАНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА СТРОЕНИЕ ИХ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ

Горбатова Е.А.¹, Ожогина Е.Г.²

¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

² Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского, г. Москва, Россия

Аннотация. Технологии переработки минерального сырья базируются на полной информации об их морфоструктурном составе, полученной комплексом современных минералого-аналитических методов. Установлено, что на состав и морфологию минералов хвостов обогащения руды влияет ее микроструктура. Минералы руд зернистых, кристаллобластических и метазернистых микроструктур характеризуются простым строением с ровными границами, поэтому в процессе дезинтеграции они легко раскрываются с образованием мономинеральных агрегатов. Минералы руд коррозионных, катакластических, коллоидных микроструктур обладают сложным строением с неровными, зубчатными границами, что приводит к переизмельчению и потерям минералов цветных металлов в хвостах обогащения.

Ключевые слова: колчеданные руды, текущие хвосты обогащения, микроструктура, морфология минералов, границы срастания, минералого-аналитические методы.

Введение

Промышленное освоение природного и техногенного минерального сырья на современном этапе развития техники и экономики определяется эффективностью технологических решений их переработки, обеспечивая полное и комплексное извлечение основных и сопутствующих минералов, утилизацию отходов и соблюдение экологических требований [1-3].

Современные технологии переработки минерального сырья базируются на полной и достоверной информации о вещественном составе потенциальных рудоносных образований, полученной методами технологической минералогии.

Минералого-технологические исследования полезных ископаемых, направленные на изучение состава, строения и свойств минералов, позволяют определить технологические показатели рудоподготовки и обогащения, а также спрогнозировать морфоструктурный состав отходов обогатительного передела. Текстура руды предопределяет конечную крупность ее дробления на стадии рудоподготовки, структура обуславливает эффективность технологического процесса обогащения. Существенное влияние на состав и морфологию минералов хвостов обогащения руды оказывает ее микроструктура, а именно особенности строения зерен и границы срастания минералов руды [5].

Методика исследований

Информация о сложном полиминеральном сырье, к числу которого относятся колчеданные руды, может быть получена только комплексом современных минералого-аналитических методов [4].

Аналитические исследования включают определение: 1) содержание Cu и Zn традиционными методами аналитической химии; 2) количество микроэлементов методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой.

Морфоструктурный состав руд и хвостов обогащения целесообразно проводить традиционными методами исследований с использованием оптической, включающей петрографический, минераграфический и оптико-геометрический анализы. В отдельных случаях эффективно применение методов электронной микроскопии и рентгеномографии.

Петрографический и минераграфический анализы являются распространенными методами количественного минералогического анализа руды и хвостов ее обогащения, а также методами определения их морфоструктурных характеристик. Данные анализы позволяют определять минеральный состав, размер, форму и внутреннее строение зерен, характер взаимоотношения минеральных агрегатов, тип срастания рудных и породообразующих минералов.

Оптико-геометрический анализ проводится с использованием систем компьютерного анализа изображений, разрешающих измерять геометрические и морфометрические параметры минералов хвостов обогащения, а также проводить весовой, дифференциальный, интегральный и корреляционный анализы полученных значений. На основании базовых метрических параметров может быть определена вкрапленность минеральных зерен, характеризующая их гранулометрией, формой и типом сростаний с другими минералами.

Электронная микроскопия позволяет выявлять и идентифицировать минеральные фазы, определять реальные состав и строение, в т.ч. фазовую и структурную неоднородность, морфометрические особенности минеральных индивидов и их агрегатов.

Рентгеномографический анализ аналогично оптико-геометрическому методу дает возможность определять гранулярный состав и морфометрические характеристики минералов и руд в целом в образце без предварительной пробоподготовки.

Для количественной оценки минерального состава руды и отходов обогатительного передельного наиболее эффективен метод рентгенографического количественного фазового анализа (РКФА). Метод обеспечивает выявление, диагностику и количественную оценку всех раскристаллизованных фаз, величина кристаллитов которых более 0,02 мкм, с содержанием выше 0,5-1,0 весовых %, в зависимости от элементного состава фазы и совершенства ее кристаллической структуры. Глинистые минералы идентифицируются по стандартной методике, основанной на сопоставлении трех дифрактограмм первичной пробы, насыщенной глицерином и прокаленной при 550°C.

Результаты исследований и их обсуждение

Колчеданные руды Южного Урала относятся к шести морфогенетическим группам на основании наиболее распространенных микроструктур – зернистые, кристаллобластические, коррозионные, метазернистые, коллоидные и катакластические [5].

В рудах в зависимости от формы, размера и характера сростания зерен минералов характерными являются следующие морфологические виды зернистых микроструктур: гипидиоморфнозернистая, аллотриоморфнозернистая и пойкилитовая.

В кристаллически-зернистых рудах с высокой степенью идиоморфизма встречается пирит. Гипидиоморфнозернистая микроструктура свойственна сростаниям идиоморфных или гипидиоморфных зерен пирита с аллотриоморфными выделениями более поздних сульфидов – сфалерита, халькопирита, галенита и др. Такие сростания характеризуются простым строением с ровными и прямыми границами. В случае сростания аллотриоморфных выделений сфалерита и халькопирита минеральным агрегатам свойственны более неровные, заливообразные границы.

Кристаллобластические микроструктуры характерны для пирита и проявляются в результате перекристаллизации агрегатов зернистого, метазернистого и коллоидного строения. По степени идиоморфизма кристаллобластов в рудах различают идиоморфнобла-

стическую, гипидиоморфнобластическую и аллотриоморфнобластическую структуры. Кристаллобласты пирита имеют однородное внутреннее строение.

Кристаллозернистые и кристаллобластовые минеральные агрегаты в процессе разделения их физическими методами максимально раскрываются с выделением индивидуализированных зерен минералов цветных металлов. Если размер зерен минералов менее 44 мкм, то большая вероятность их накопления в хвостах обогащения в виде полиминеральных агрегатов с идиоморфными и гипидиоморфными выделениями пирита, сульфидами цветных металлов аллотриоморфной формы.

Метазернистые минеральные агрегаты отличаются неравномерной зернистостью и ситообразным внутренним строением зерен, обусловленным включениями окружающих минералов. Метазерна образуются в результате собирательной перекристаллизации глобулярного пирита и метасоматического замещения минералов вмещающих пород и сульфидов. По степени идиоморфизма метазерен различают идиоморфнометазернистые, гипидиоморфнометазернистые и аллотриоморфнометазернистые микроструктуры, характеризующиеся разными границами сростаний минералов: от ровной, прямолинейной до искривленной с частичным проникновением минералов друг в друга. Поэтому в процессе разделения пиритные агрегаты с реликтами других минералов будут концентрироваться в хвостах обогащения.

Тонкое прораствание минералов с выделением концентрических, сферолитовых, фестончатых и шариковых минеральных агрегатов пиритного, сфалерит-пиритного и халькопирит-сфалерит-пиритного составов обуславливает коллоидные и метаколлоидные микроструктуры. Строение таких агрегатов неоднородное, сетчатое, пористое с радиальными и концентрическими трещинами усыхания, что увеличивает сорбционную способность агрегатов и ухудшает флотационные характеристики минералов. Трещины усыхания могут быть выполнены рудными и нерудными минералами. В процессе дезинтеграции руды шариковой структуры раскрываются весьма затруднительно, что приводит к накоплению моно- и полиминеральных агрегатов с выделениями пирита фрамбоидного строения.

Для поздних минеральных ассоциаций руд характерны коррозионные микроструктуры. Они образуются при замещении ранее выделившихся минералов – кварца, пирита, халькопирита и сфалерита более поздними – пиритом, халькопиритом, сфалеритом, блеклой рудой, галенитом, борнитом, халькозином, минералами висмута и серебра. Вторичные минералы могут унаследовать состав первичного или не иметь ничего общего с составом замещаемого минерала. Например, в первом случае – замещение пирита сфалеритом или халькопиритом, во-втором – растворение кварца и серицита с последующим отложением на их месте галенита, пирита, сфалерита, халькопирита, барита и др.

Замещение сульфидов и минералов вмещающих пород начинается с выполнения полостей трещин и развивается по контурам зерен поздних минералов, образуя тонкие нитеобразные прожилки, микровклю-

чения и каемочные выделения. Границы сростания – неровная, зазубренная, заливообразная с глубоким проникновением вторичных минералов в первичные, что обуславливает переизмельчение и потери в хвостах обогащения полиминеральных агрегатов с каемочными и коррозионными выделениями минералов цветных металлов.

Микроструктура распада твердых растворов – сростание двух минералов, обладающих близкими кристаллохимическими свойствами, в основном халькопирита и сфалерита. В рудах наиболее часто встречаются эмульсионные и пластинчатые структуры, представляющие собой тонкозернистые сростания минералов. Такие минеральные агрегаты затруднительно или практически невозможно раскрыть, в результате чего образуются минеральные сростки закрытого типа. Вследствие повышенной сорбционной способности границ раздела минералов агрегаты активно флотируются с получением некондиционного концентрата, в котором теряется и разубоживается полезный минерал. Небольшая часть сростков уходит в хвосты.

Катакластические микроструктуры выражены в рудах в виде трещиноватых, раздробленных минеральных агрегатов пирита и кварца. Полости трещин залечиваются более мягкими минералами – халькопиритом, сфалеритом и теннатитом. Такие руды склонны к переизмельчению, что приводит к образованию шламуемого материала и накоплению его в хвостах обогащения.

Вывод

Колчеданные руды Южного Урала характеризуются неоднородностью морфоструктурного состава, что оказывает непосредственное влияние на строение и состав текущих хвостов обогащения этих руд. Детальные исследования руд с применением комплекса минералого-аналитических методов позволят прогнозировать минералогические особенности отходов обогатительного передела с точки зрения их вторичной переработки, поведения в технологических процессах и качества ожидаемых конечных продуктов.

Список литературы

1. Чантурия В.А. Современная минералогия и новые тенденции ее развития // Горный журнал. 2005. №12. С. 56-64.
2. Ожогина Е.Г., Котова О.Б., Чантурия Е.Л. Роль технологической минералогии в прогнозной оценке качества минерального сырья и его глубокой технологии комплексной переработки минерального сырья. М.: Издательский дом «Руда и Металлы», 2008. С. 35-52.
3. Комплексное освоение месторождений и глубокая переработка минерального сырья / К.Н. Трубецкой, В.А. Чантурия, Д.Р. Каплунов, М.В. Рыльникова. М.: Наука, 2010. 437 с.
4. Горбатова Е.А., Колкова М.С. Методические основы минералогической оценки отходов обогатительного передела колчеданных руд Южного Урала // Маркшейдерское и геологическое обеспечение горных работ: сб. науч. трудов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. С.150-155.
5. Ожогина Е.Г., Горбатова Е.А. Влияние морфоструктурного состава отходов обогащения руд цветных металлов на извлечение ценных компонентов при их гидрометаллургическом переделе // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. №1. С.10-12.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE EFFECT OF ORE MICROSTRUCTURES OF FIRESTONE DEPOSITS ON THEIR TAILINGS STRUCTURE

Gorbatova Elena Alexandrovna – Ph.D. (Eng.), Head of Mine Surveying Works and Geology department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: (3519) 29-85-42. E-mail: lena_gorbatova@mail.ru.

Ozhogina Elena Germanovna – D.Sc. (Eng.), Head of Mineralogy department, All-Russian Scientific Research Institute of Mineral Resources named after N.M.Fedorovsky, Moscow, Russia. Phone: (495) 951-74-49. E-mail: vims-ozhogina@mail.ru.

Abstract. Minerals processing methods are based on the total information about morfostructural composition of raw materials, obtained with the help of modern mineralogical and analytical methods. It was established that ore microstructure affects on the composition and morphology of the tailings minerals. Granular, crystalloblastic and metagranular ore microstructure minerals are characterized by a simple structure with plane edges, therefore they are easily revealed forming monomineral aggregates during the disintegration process. Corrosive, cataclastic, colloidal ore microstructure minerals are of the complex structure with ragged, jagged edges that leads to overgrinding and losses of non-ferrous metal minerals in tailings.

Keywords: kies, current tailings, microstructure, minerals morphology, growth edges, mineralogical and analytical approaches.

References

1. Chanturia V.A. Modern Mineralogy and new trends of its development. *Gornyi zhurnal* [Mining journal], 2005, no. 12, pp. 56-64.
2. Ozhogina E.G., Kotova O.B., Chanturia E.L. *Rol tekhnologicheskoy mineralologii v prognoznoy otsenke kachestva mineralnogo syr'ya i yego*

glubokoy tekhnologii kompleksnoy pererabotki mineralnogo syr'ya. [The role of technological Mineralogy in the evaluation of the quality of mineral raw materials and advanced technology of complex processing of mineral raw materials]. Moscow: Publishing house Ore and Metals, 2008, pp. 35-52.

3. Trubetskoy K.N., Chanturia V.A., Kaplunov D.R., Rylnikova M.V. *Комплексное освоение месторождений и глубокая переработка минерального сырья* [Complex development of fields and deep processing of mineral raw materials]. Moscow: Nauka, 2010, 437 p.
4. Gorbatova E.A., Kolkova M.S. Methodical bases of mineralogical and technological estimation of waste for processing sulfide ores of the South Urals. *Marksheyderskoe i geologicheskoe obespechenie gorniyh rabot: sb. nauch. trudov* [Mine surveying and geological provision of mining works: Collection of scientific works]. Magnitogorsk, Publ. NMSTU, 2013, pp. 150-155.
5. Ozhogina E.G., Gorbatova E.A. The impact of morfostructural composition of the waste of enrichment of ores of nonferrous metals extraction of valuable components at their hydrometallurgical redistribution. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2012, no. 1, pp. 10-12.

От редакции

Научная школа МГТУ им. Г.И. Носова «Развитие теории и технологии металлургического производства» в своих исследованиях охватывает широкий спектр проблем в большой металлургической системе. Исследуются процессы окискования как традиционного, так и титаномагнетитового (сложного в переработке) железорудного сырья. Разрабатывается принципиально новая, с элементами гидрометаллургии, экологически безопасная схема переработки сидеритового сырья.

Много внимания уделяется решению проблемы утилизации отходов металлургического производства: переработке шламов и шлаков. При этом получены ценные продукты, например цинковый концентрат. Традиционными являются исследования в области теоретического моделирования и практического совершенствования технологических процессов производства стали на всех его стадиях: выплавки, ковшевой обработки и непрерывной разливки. Развиваются теория и технология литейных сплавов на заранее заданные свойства для отливок специального назначения. Разработана теория и технология изготовления шлакокаменных отливок и использование окисных отходов металлургического производства в технологических процессах.

УДК 669.187.25

ОПЫТ ВЫПЛАВКИ СТАЛИ В СВЕРХМОЩНОЙ ДУГОВОЙ ПЕЧИ С ПОВЫШЕННЫМ РАСХОДОМ ТВЕРДОГО ЧУГУНА

Бигеев В.А.¹, Валиахметов А.Х.², Йенер Бурак³, Федянин А.Н.²¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия² Магнитогорский металлургический комбинат, Россия³ ММК-Metalurji, Dordyol, Turkey

Аннотация. В рамках российско-турецкого сотрудничества коллектив ученых и производителей усовершенствовал технологию выплавки стали в сверхмощной электродуговой печи ДСП-250 металлургического завода «ММК-Metalurji». В статье сделан анализ качества различных видов стального лома, установлено, что при плавке с использованием доступного лома не удастся обеспечить содержание меди менее 0,25%. Это негативно сказывается на качестве листового проката, в частности образуются трещины на кромке листа. Приведенные исследования привели к технологии с использованием в шихте не менее 25% твердого чугуна, что позволило обеспечить удовлетворительное качество холоднокатаного листового проката.

Ключевые слова: металлошихта, качество лома, твердый чугун, технологические параметры.

Введение

В подавляющем большинстве случаев на металлургических предприятиях неполного цикла производят сортовой прокат. На металлургическом заводе «ММК-Metalurji» производится тонкий холоднокатаный лист, в основном с цинковым и полимерным покрытиями. Это предъявляет высокие, непросто выполнимые требования к качеству производимой стали в электросталеплавильном цехе. Творческим коллективом российско-турецких специалистов на этом предприятии была освоена новая технология выплавки стали в сверхмощной электродуговой печи ДСП-250 с высоким расходом твердого чугуна.

Качество металлошихты и ее влияние на дефекты проката. В 2011 г. в г. Искендерун (Турция) был введен в эксплуатацию современный металлургический комплекс «ММК-Metalurji». Производственные мощности рассчитаны на ежегодный выпуск 2,3 млн т товарной металлопродукции. Комплекс в г. Искендерун включает в себя две составные части: «горячий» и «холодный» переделы. «Горячий» передел представлен литейно-прокатным комплексом (ЛПК). «Холодный» передел состоит из цеха холод-

ной прокатки (в его основе – реверсивный трехклетевой стан «1300», агрегат горячего цинкования, линия полимерного покрытия) и сервисного металлоцентра. Основной продукцией предприятия является холоднокатаный листовой прокат с цинковым или полимерным покрытием. По своему технологическому оснащению комплекс является одним из самых современных в мире.

Также имеется собственный морской порт, наличие которого обеспечивает поставку сырья для производства стали, при необходимости – горячего подката, а также отгрузку большей части продукции. Пропускная способность порта более чем в два раза превышает максимальные потребности «ММК-Metalurji», поэтому оказываются транспортные услуги для других предприятий искендерунского металлургического кластера.

Состав оборудования ЛПК включает в себя 250-тонную сверхмощную дуговую сталеплавильную печь, сдвоенную установку печь-ковш, сдвоенный вакууматор камерного типа, тонкослябовую машину непрерывного литья заготовок (толщина сляба 70 или 50 мм) и непрерывный широкополосный стан горячей прокатки.

Для получения листового проката высокого качества необходимо обеспечить в готовой стали мини-

мальное содержание вредных примесей – серы и фосфора, газов – кислорода, азота и водорода, а также примесей цветных металлов – хрома, никеля, меди, олова и молибдена.

Состав оборудования ЭСПЦ позволяет успешно справляться с задачей получения низкого содержания серы, фосфора и газов в стали.

Более сложной задачей является обеспечение получения в готовой стали гарантированно низких концентраций примесей цветных металлов, в частности меди. Поступление меди в сталь обусловлено ее наличием в исходной металлошихте. Причем медь в металлическом ломе находится как в виде физических примесей – отдельных кусков (различного рода детали, провода, куски кабелей, обмотки электродвигателей, различные виды латуни, бронзы и т.д.), так и содержится в химическом составе кусков лома.

Ориентировочное содержание меди в ломе различных видов представлено в табл. 1.

Таблица 1

Ориентировочное содержание меди в различных видах металлической шихты, используемой для выплавки стали

Вид используемой шихты	Ориентировочное содержание меди, %
Domestic (Местный лом турецкого рынка)	0,20-0,25
HMS I/II	0,40-0,55
A-3 (лом, импортируемый из России и стран СНГ)	0,20-0,25
Пакеты (автомобильный лом)	0,10
Шреддерный лом (Европа, Северная Америка)	0,40-0,60
Отходы собственного производства (остатки металла с ДСП, проковшей, слябы, прокатная обрезь)	0,25
НВИ (ГБЖ – железо горячего брикетирования)	<0,02
Pig Iron (Чушковый чугун)	<0,02

Металлический лом, имеющийся на рынке Средиземноморья, существенно отличается от лома, имеющегося на рынке России и стран СНГ, по своему составу. Лом с рынка стран СНГ в основном был получен из стали, выплавленной с использованием большой доли чугуна мартеновским или кислородно-конвертерным способом. Поэтому содержание меди в таком ломе относительно небольшое, как правило, не превышает 0,25%, в то время как в Европе и Северной Америке доля электростали занимала значительно большую часть от объемов производства. Концентрация меди в стали

обыкновенного качества нередко достигает уровня 0,40-0,50%.

Повышенное содержание меди является одной из основных причин появления в горячекатаном прокате дефекта «трещины по кромке» (рис. 1). Дефект начинает проявляться при концентрации меди в стали 0,25-0,30% и при превышении 0,30% имеет практически постоянное присутствие. Исходя из этого, шихтовку плавки проводят с учетом получения содержания меди в готовой стали не более 0,25%.

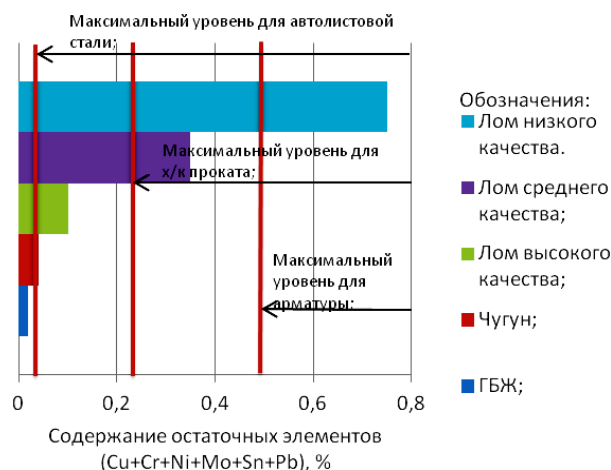


Рис. 1. Содержание цветных металлов в различном виде сырья и максимальные содержания цветных металлов для разных марок стали

В стальном ломе, являющимся основой металлошихты в ДСП-250, наблюдается высокое содержание меди и других цветных металлов, особенно по сравнению с чугуном и горячебрикетированным железом (ГБЖ). Эти данные представлены на рис. 2. В случае «ММК-Metalurji» большая часть лома, поступающего из европейских стран и США, по содержанию цветных примесей относится к сырью низкого качества. Меньшая часть лома среднего качества поступает из РФ, полностью отсутствует лом высокого качества. Поэтому из металлошихты, состоящей из 100% лома, невозможно выплавить сталь для производства качественного холодного листового проката (см. рис. 2).

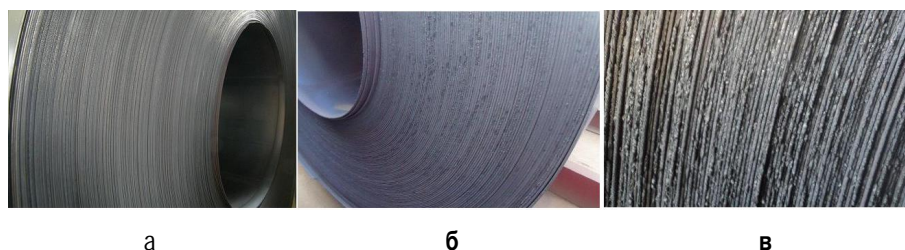


Рис. 2. Горячекатаные рулоны стали разного качества: а – рулоны без дефекта; б – рулоны с дефектом «легкие трещины по кромке»; в – рулоны с дефектом «грубые трещины по кромке»

Решение данной проблемы возможно путем применения различных видов альтернативного сырья (с

низким содержанием меди и других цветных металлов), таких как чугун твердый и жидкий, металлizedанное сырье, как правило ГБЖ. Однако металлizedанное сырье является дефицитным материалом, особенно в средиземноморском регионе. Доменного производства на заводе «ММК-Metalurji» нет, поэтому невозможно использовать опыт ЭСПЦ ОАО «ММК» плавки с применением жидкого чугуна [3]. Для этого турецкого предприятия наиболее подходящим является использование твердого чугуна.

Технология плавки с повышенным расходом чугуна. Шихтовку плавки на ДСП проводят, рассчитывая поступление меди из различных видов металлошихты [1,2]. По проекту основным вариантом шихтовки плавки в ДСП-250 является использование от 80% металлического лома и до 20% твердого чугуна. Применение твердого чугуна обусловлено задачей не только снижения расхода электроэнергии на плавку, но и, главным образом, снижение концентрации меди. Однако при использовании в металлошихте ДСП (особенно большой вместимости) более 10% твердого чугуна возникает проблема временного «сплавания» чугунных чушек в конгломерат. В дальнейшем расплавление этого конгломерата сопровождается бурной реакцией окисления углерода, как правило, с выбросами металла и шлака из печи. Были разработана специальная методика загрузки бадьи ломом и твердого чугуна для завалки, первой и второй подвалок металлошихты в ДСП.

Разработанная технология позволила работать при расходе твердого чугуна 25-28%, в отдельные периоды расход чушкового чугуна достигал 30% на плавку. В табл. 2 представлены технологические параметры выплавки стали при разных расходах чушкового чугуна.

Как видно из данных, приведенных в таблице, при увеличении расхода чугуна снижения удельного расхода электроэнергии не происходит.

Однако снижается общий расход углеродсодержащих материалов на плавку как для угольных инжекторов, так и присаживаемых в корзину в завалку и подвалку. Также отмечено увеличение расхода кислорода для окисления углерода, поступающего с твердым чугуном.

Снижение расхода металлошихты на плавках с использованием чугуна также можно объяснить высокой замусоренностью используемого металлического лома.

После запуска комплекса и по мере накопления производственного опыта стало понятно, что, используя только чушковый чугун и лом, имеющийся на турецком рынке, можно гарантировать содержание меди менее 0,30%. Для того чтобы обеспечить получение в готовом прокате содержания меди не более 0,25%, стали закупать в России и странах СНГ лом среднего качества.

Таблица 2

Технологические параметры выплавки стали с использованием чушкового чугуна

Вариант технологии	Технологические параметры						
	Цикл плавки, мин	Время под током, мин	Удельный расход электроэнергии, кВт*ч/т	Расход кислорода, м ³ /т	Расход металлошихты, кг/т	Удельный общий (на инжекторы + в корзину) расход углерода, кг/т	Температура металла на выпуске, °С
Без использования чушкового чугуна	62,4	42,7	411	38,1	1248	19,2	1643
С расходом чушкового чугуна до 10% (в среднем 7,5%)	61,9	41,3	411	37,7	1190	11,6	1633
С расходом чушкового чугуна 10-20% (в среднем 14,7%)	62,6	42,5	420	38,4	1183	9,6	1634
С расходом чушкового чугуна более 20% (в среднем 27%)	60,6	43,2	411	42,9	1189	11,4	1624

Заключение. На вновь построенном металлургическом заводе «ММК-Metalurji» освоена самая энергетически мощная в мире ДСП-250. Несмотря на объективные трудности с качеством европейского и североамериканского стального лома в ЭСПЦ, удалось разработать технологию производства горячекатанного листа с содержанием меди не более 0,25%.

Список литературы

1. Особенности материального и теплового балансов ДСП-180 ОАО «ММК» / В.А. Бигеев, А.Е. Малофеев, А.В. Пантелеев, Ю.А. Ивин, А.Х. Валиахметов // Электрометаллургия. 2008. №12. С. 16-18.
2. Особенности работы ДСП на длинных дугах / Бигеев В.А., Малофеев А.Е., Пантелеев А.В. и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2006. №4(16). С. 20-21.
3. Изучение поведения химических элементов при выплавке полупродукта в сверхмощной дуговой сталеплавильной печи с различным расходом жидкого чугуна / Алексеев Л.В., Столяров А.М., Малофеев А.Е. и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. №1(23). С. 38-41.

STEEL SMELTING EXPERIENCE IN THE SUPERPOWER ARC FURNACE WITH FIRM CAST IRON RAISED CONSUMPTION

Bigeev Vahit Abdrashitovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Director of Metallurgy, Mechanic Engineering and Materials Processing Institute, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519)29-85-59. E-mail: v.bigeev11@yandex.ru.

Valiakhmetov Alfred Habibullayevich – Leading Industrial Engineer of MMK's Central Laboratory, OJSC «MMK», Magnitogorsk, Russia. Phone: 8(3519)24-07-03. E-mail: Valiakhmetov.ak@mmk.ru.

Yener Burak – Chief of ESPT's «MMK-Metalurji» MMK Metalurji San. Tic. Ve Liman Islet-meciligi A.S., Ozerli Mah. Alparslan Turkes Blv., Dortyol, Turkey. E-mail: Byener@mmkturkey.com.tr.

Fedyanin Artem Nikolaevich – Engineer of BOF OJSC «MMK», Russia. Phone: 8(3519)24-07-03. E-mail: fedyaninan@inbox.ru.

Abstract. Within the Russian-Turkish collaboration the group of scientists and production workers has improved the technology of steel smelting in the super power DSP-250 electric furnace of MMK-Metalurji steel works. The quality of different types of steel scrap has been analysed in the article. It is established that in melting with the available scrap it isn't possible to provide the content of copper less than 0,25%. It negatively affects on the quality of flat product, in particular cracks on a leaf edge are formed. The given research led to the technology using in charging not less than 25% of firm cast iron that allowed to provide satisfactory quality of cold rolled flat product.

Keywords: metal charge, quality of scrap, firm cast iron, process variables.

References

1. Bigeev V.A., Malofeyev A.E., Panteleev A.V., Ivin Yu.A., Valiakhmetov A.H. Features of material and thermal balances of DSP-180 of OJSC MMK. *Elektrometallurgiya* [Electrometallurgy]. 2008, no. 12, pp. 16-18.
2. Bigeev V.A., Malofeyev A.E., Panteleev A.V. etc. Features of work of a particleboard on long Arches. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2006, no. 4(16), pp. 20-21.
3. Alekseev L.V., Joiners A.M., Malofeyev A.E. etc. Studying of behavior of chemical elements when smelting semi-product in the superpower arc steel-smelting furnace with various expense liquid Cast iron. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2009, no. 1(23), pp. 38-41.

От редакции

Научная школа МГТУ им. Г.И. Носова «Развитие теории и технологий металлургического производства» в рамках специальности 05.16.04 «Литейное производство» одинаково успешно развивает фундаментальную и прикладную науку. Научные разработки магнитогорских ученых под руководством Колокольцева В.М. широко известны мировой научной общественности. Создано более десятка монографий, два учебника, шесть грифованных учебных пособий, около 100 изобретений совместно с производственниками – В.Ф. Рашниковым, В.В. Бахметьевым, Р.Х. Гималетдиновым, С.В. Цыбровым; отечественными и зарубежными учеными Ри Хосе-ном, Ри Э.Х., Тэн Э.Б., Збигневом Конопкой, Е.В. Ковалевичем и многими другими.

УДК 669.15-196

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА БЕЛЫХ ЧУГУНОВ РАЗНЫХ СИСТЕМ ЛЕГИРОВАНИЯ

Колокольцев В.М.¹, Конопка З.², Петроченко Е.В.¹¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия² Ченстоховский технологический университет, Польша

Аннотация. Изучены особенности формирования структуры и свойств белых чугунов разных систем легирования в зависимости от химического состава и условий охлаждения при затвердевании. Установлены особенности влияния химического состава, температурных режимов охлаждения сплавов в литейной форме на структуру металлической основы, тип карбидной фазы, морфологию эвтектических композиций, механические свойства, износостойкость и жаростойкость комплексно-легированных белых чугунов (КЛБЧ).

Ключевые слова: белые чугуны, микроструктура, эвтектические композиции, карбидная фаза, металлическая основа, фазовый состав, химический состав фаз, износостойкость, жаростойкость.

Введение

Белые легированные чугуны широко используют как материал для инструмента и деталей машин и механизмов, подвергающихся интенсивному изнашиванию и окислению [1-4]. Современные белые чугуны – сложнолегированные многокомпонентные сплавы, различные по структуре и специальным свойствам. Они представляют собой отдельную группу промышленных чугунов, при затвердевании которых формируется композиционная структура. Именно она определяет специфические свойства белых чугунов в литом состоянии.

Несмотря на обилие литературных данных [5-7], до сих пор актуальны исследования по изучению влияния легирующих элементов и условий охлаждения на процессы кристаллизации и структурообразования, механические и эксплуатационные (жаростойкость, износостойкость) свойства этих чугунов. Особенно это касается условий формирования различных эвтектик и карбидной фазы при наличии в составе чугуна нескольких карбидообразующих элементов и модификаторов.

1. Материалы и методы исследования

Исследования проводили на белых чугунах, легированных ванадием и комплексами V-C-Cu-Ti-B, V-Cr, Cr-Mn-Ni-Ti, Cr-Mn-Ni-Al, Cr-Mn-Ni-Nb. Экспериментальные сплавы выплавляли в индукционной печи ИСТ-006 с основной футеровкой и заливали в сухие и сырые песчано-глинистые формы (ПГФ) и кокиль.

Структуру и фазовый состав чугунов, оксидных слоев исследовали с помощью металлографического и

рентгенографического методов. Рентгеновская съемка производилась на дифрактометре ДРОН-УМ1 (в кобальтовом $K\alpha$ излучении). Обработка экспериментальных данных производилась по комплексу КО-ИМЕТ. Фазовый анализ осуществлялся с помощью программы XRAYAN и базы данных PDF.

Количественный металлографический анализ, автоматизированную обработку результатов измерения микротвердости проводили с помощью анализаторов изображений Thixomet PRO, Siams.

Микрорентгеноспектральные исследования фазовых составляющих в сплавах и поверхности окисления проводили на растровых электронных микроскопах «JEOL» JSM-6460 LV, «TESCAN VEGA II XMU», «Camscan» с микрорентгеноспектральными анализаторами.

Жаростойкость оценивали по двум показателям: окалинстойкости и ростоустойчивости (ГОСТ 6130-71 и 7769-82).

Сравнительные испытания на износостойкость сплавов и чугунов при трении о нежестко закрепленные (полузакрепленные) абразивные частицы проводили по методике, регламентированной ГОСТ 23.208-79. Изнашивание проводилось абразивными частицами различной твердости (электрокорундом и периклазом), что определяло различные механизмы изнашивания.

2. Результаты исследования и их обсуждение

Исследовали структуру и износостойкость тройных сплавов Fe-V-C при следующем соотношении компонентов, масс. %: 2,0-3,5 C; 3,0-9,0 V. Фазовый состав ванадиевых чугунов в литом состоянии представляет собой α (ОЦК)-фазу, карбид ванадия VC и

карбид железа Fe_3C . Две карбидные фазы определяют образование двух эвтектических композиций: двойной – аустенитно-ванадиевокарбидной ($\gamma + VC$) и тройной ледебуритоподобной ($\gamma + Fe_3C + VC$). Выделяется эта составляющая по границам колоний двойной эвтектики ($\gamma + VC$) [8].

В ванадиевых чугунах в зависимости от химического состава сплава и условий охлаждения формируются следующие структуры: структура, состоящая из дендритов аустенита (или продуктов его распада) и тройной эвтектики $\gamma + Fe_3C + VC$ (рис. 1, а, б); полностью инвертированная структура эвтектики $\gamma + VC$ (рис. 1, г, д); структура, состоящая из двух эвтектик $\gamma + VC$ и $\gamma + Fe_3C + VC$ (рис. 1, в, е).

Наиболее высокие значения прочности, твердости и износостойкости по корунду Ки ши периклазу Кп достигаются у сплавов, залитых в кокиль: ПГФ – 500-550 МПа; 40-45 HRC; 4-5 ед. Ки; 12-15 ед. Кп; кокиль – 550-600 МПа; 45-55 HRC, 5-7 ед. Ки; 15-18 ед. Кп. Учитывая этот факт и зная характеристики отливок (масса, толщина стенки, габаритные размеры) и тип формы, можно регулировать содержание ванадия и углерода в сплаве и получать требуемые свойства. Это позволяет более широко использовать белые ванадиевые чугуны для производства отливок.

Определены концентрационные интервалы по углероду и ванадию (2,6–3,0% С и 5,0-8,0% V), обеспечивающие максимальную износостойкость ванадиевых чугунов в различных условиях абразивного изнашивания. Одновременно достичь достаточно высокой износостойкости и полностью инвертированной структуры чугунов с базовой композицией Fe–V невозможно при легировании одним ванадием вследствие неполной инверсии эвтектики и формирования перлитной структуры металлической основы.

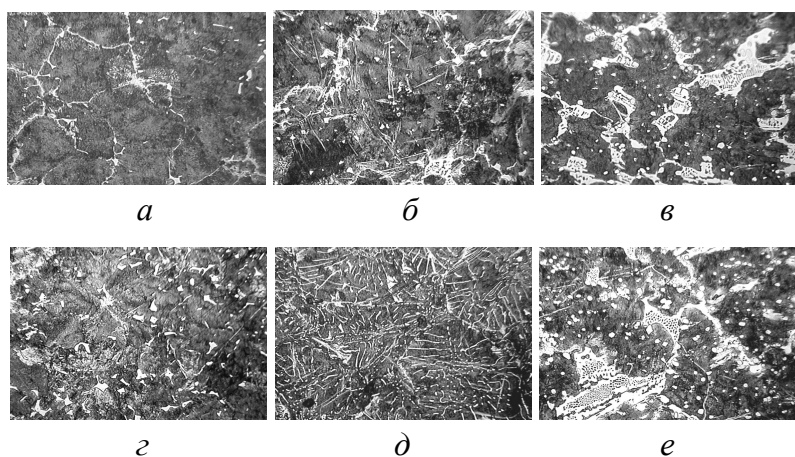


Рис. 1. Микрофотографии структур ванадиевых чугунов, х500

Дополнительное легирование ванадиевых чугунов Ti, Cu, В и увеличение скорости охлаждения при затвердевании (заливка в кокиль) значительно сокращает (вплоть до исчезновения) количество ледебурита, увеличивает объемную долю карбидов VC и (Ti,V)C (в 2-3 раза). Содержание этих элементов в исследуе-

мых чугунах было следующим, масс. %: углерод – 2,6-3,0; ванадий – 5,0-8,0; медь – 0,8-1,2; титан 0,3-0,6; бор – 0,01-0,05.

Увеличение скорости охлаждения при затвердевании и содержания Ti в карбидах изменяет их форму и размеры (рис. 2). Карбиды (Ti,V)C становятся менее разветвленными, увеличивается дисперсность карбидов (Ti,V)C, двойной эвтектики и содержание в ней карбидной фазы

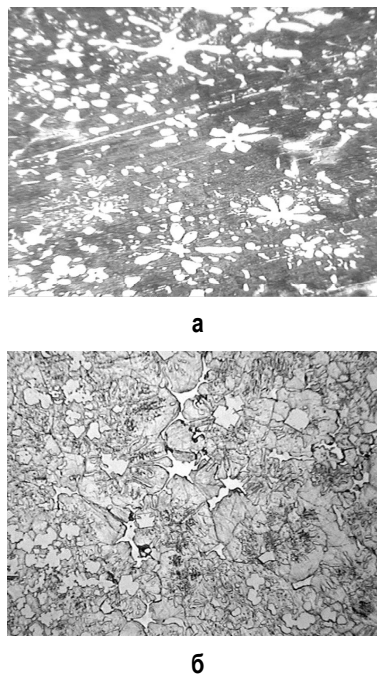


Рис. 2. Структура комплексно-легированных ванадиевых чугунов: а – ПГФ; б – кокиль

При испытании по корунду основным механизмом изнашивания является микрорезание, а при взаимодействии чугуна с периклазом разрушение основы происходит по механизму пластического отщеснения. Наивысшей износостойкостью при износе по механизму микрорезания обладают чугуны с преимущественно мартенситной структурой, при изнашивании по механизму пластического отщеснения – с аустенитно-мартенситной структурой. Структура металлической основы изменяется от перлитной (ПГФ) до мартенситно-аустенитной (кокиль). Вследствие этого износостойкость комплексно-легированных чугунов по периклазу повышается в 1,5-2,0 раза по периклазу и 2-4 раза по корунду. В зависимости от условий охлаждения в форме изменяются концентрационные интервалы C,V, Ti, Cu, В, обеспечивающие одинаковый уровень механических свойств и износостойкости [9].

По результатам исследования определены типы эвтектик и структур чугунов с базовой композицией

Fe-V в зависимости от химического состава и скорости охлаждения. Предложены оптимальные для различных условий изнашивания составы комплексно-легированных ванадиевых чугунов.

В чугунах с базовой композицией Fe-Cr-V образуются две двойные эвтектики $\gamma + VC$ (рис. 3, а), $\gamma + (Fe, Cr, V)_7C_3$ (рис. 3, б) и тройная $\gamma + (Fe, Cr, V)_7C_3 + VC$. Содержание этих элементов в исследуемых чугунах было следующим, масс. %: хром – 14,0-20,0; ванадий – 3,0-9,0; углерод – 2,6-3,2.

Металлическая основа чугунов состоит из аустенита и мартенсита, соотношение этих фаз, состав карбидов и металлической основы зависят от химического состава сплава и типа литейной формы (см. таблицу). Например, карбиды $(Fe, Cr, V)_7C_3$ содержат 26,0-48,0% железа, 41,0-52,0% хрома, 9,0-22,0% ванадия, карбид ванадия ограниченно растворяет железо (до 2,0-5,0%), несколько больше – хром (8,0-16,0%). Износостойкость хромованадиевых чугунов зависит от микротвердости металлической основы, объема карбидной фазы, доли аустенита и его метастабильности по отношению к деформационному мартенситному превращению.

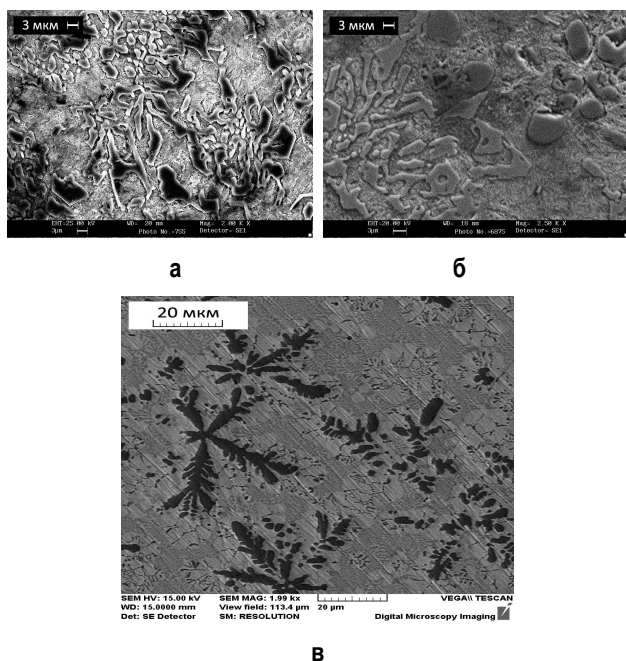


Рис. 3. Двойные эвтектики $\gamma + (Fe, Cr, V)_7C_3$ (а) и $\gamma + VC$ (б); дендриты первичных карбидов ванадия (в)

От соотношения хрома и ванадия в чугунах зависит состав, строение и свойства карбидной фазы. При избыточном содержании углерода и легирующих элементов образуются массивные разветвленные дендриты первичных карбидов ванадия (рис. 3, в).

Увеличение хрома в сплаве вызывает снижение содержания ванадия в составе карбидов VC и $(Fe, Cr, V)_7C_3$, что проявляется в снижении микротвердости карбидов ванадия от 22 до 18 ГПа и комплексных карбидов хрома от 16 до 10 ГПа. Увеличение концентрации ванадия и углерода в сплаве снижает содержа-

ние железа в карбидах и повышает содержание ванадия и хрома. В результате микротвердость карбидов $(Fe, Cr, V)_7C_3$ повышается до 16-17 ГПа.

Увеличение скорости охлаждения приводит к следующему изменению состава карбидов: снижает содержание хрома с 10 до 8% в карбиде VC; увеличивает содержание железа с 37 до 47% и уменьшает содержание хрома с 51 до 41% в комплексном карбиде $(Fe, Cr, V)_7C_3$. В результате степень легированности металлической основы увеличивается.

Объем карбидной фазы в эвтектиках $\gamma + (Fe, Cr, V)_7C_3$ и $\gamma + (Fe, Cr, V)_7C_3 + VC$ составляет 28–36%, в эвтектике A + VC карбидов меньше – 10-15%. Различие в строении эвтектик определяет их разные свойства.

В зависимости от состава хромованадиевых чугунов формируются 5 типов структур сплавов (структурных классов): 1 – доэвтектическая, состоящая из избыточных дендритов аустенита (или продуктов его распада) и тройной эвтектики $\gamma + (Fe, Cr, V)_7C_3 + VC$; 2 – структура, состоящая из двух эвтектик $\gamma + VC$ (сферолитная форма) и $\gamma + (Fe, Cr, V)_7C_3 + VC$; 3 – структура, состоящая из двух эвтектик $\gamma + (Fe, Cr, V)_7C_3$ и $\gamma + (Fe, Cr, V)_7C_3 + VC$; 4 – структура, состоящая из предэвтектических карбидов VC и эвтектик $\gamma + (Fe, Cr, V)_7C_3$ и $\gamma + (Fe, Cr, V)_7C_3 + VC$; 5 – структура, состоящая из избыточных карбидов VC (или карбидов $(Fe, Cr, V)_7C_3$) и эвтектик $\gamma + VC$, $\gamma + (Fe, Cr, V)_7C_3 + VC$ [10]. Изучены особенности формирования структуры и свойств чугунов всех структурных классов.

Влияние условий охлаждения на количество мартенсита q_α , аустенита q_γ , комплексных карбидов хрома q_1 и ванадия q_2 в структуре чугунов первого структурного класса, %

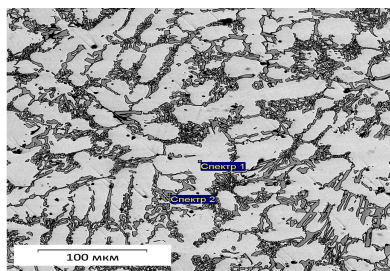
Сухая ПГФ				Сырая ПГФ				Кокиль			
q_α	q_γ	q_1	q_2	q_α	q_γ	q_1	q_2	q_α	q_γ	q_1	q_2
67,4	3,5	27,6	1,4	48,1	8,4	40,4	2,1	19,0	31,61	51,1	3,9

Были исследованы структура сплавов и оксидных слоев, распределение элементов между структурными составляющими сплава и поверхности окисления, износостойкость, окалиностойкость и ростоустойчивость жароизносостойких чугунов, легированных комплексами Cr-Mn-Ni-Ti, Cr-Mn-Ni-Al-Ti, Cr-Mn-Ni-Nb-Ti, Cr-Mn-Ni-Al-Nb-Ti [11]. Фазовый состав чугунов представляет собой α -фазу (феррит), γ -фазу (аустенит), карбиды типа M_7C_3 и карбиды типа MC. После завершения кристаллизации во всех типах форм в сплавах формируется структура, состоящая из карбидов TiC или (Nb, Ti)C, избыточных дендритов, хромистокарбидной эвтектики. В структуре чугунов, легированных Nb, присутствуют вторичных карбидов типа Cr_7C_3 (рис. 4).

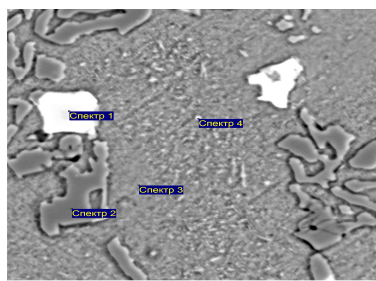
Наилучшей окалиностойкостью обладает чугун ИЧ220Х18Г4Ю2Б2НГ, залитый в сырую ПГФ. В структуре чугуна количество карбидов (Nb, Ti)C 4,9% и 12,2% карбидов $(Fe, Cr, Mn)_7C_3$. Как сильный карбидообразующий элемент Nb связывает углерод в стойкие карбиды, уменьшая тем самым количество свя-

занного хрома, содержание хрома в металлической основе увеличивается, что повышает сопротивление окислению.

Максимальной износостойкостью обладает чугун ИЧ220Х18Г4Ю2Б2НТ, залитый в кокиль, в структуре присутствует 5,4% карбидов типа MC и 14% карбидов типа M_7C_3 , твердость этого чугуна максимальная – 50 HRC, микротвердость эвтектики 9369 МПа, что соответствует максимальному значению микротвердости эвтектики для всех сплавов.



а



б

Рис. 4. Структура чугунов, легированных комплексами Cr-Mn-Ni-Ti (а) и Cr-Mn-Ni-Al-Nb-Ti (б)

Первичная литая структура чугунов сильно влияет на строение оксидных слоев. При этом обнаружи

вается эффект наследования от первичной литой структуры чугуна строения оксидных слоев; эффект наследования состава оксидной пленки в зависимости от распределения легирующих элементов в поверхностном слое литых чугунов. С помощью рентгеновского картирования выявлены концентрационные неоднородности в различных участках оксидной пленки (рис. 5).

Выявлен эффект дисперсионного твердения сплавов в форме при совместном легировании ниобием и хромом жаростойких чугунов, что обеспечивает стабильность структуры чугунов в условиях эксплуатации при повышенных температурах. Структура чугунов состоит из карбидов $(Nb, Ti)C$, избыточных дендритов, эвтектики и вторичных карбидов типа M_7C_3 (рис. 4, б).

Выводы

1. Установлены закономерности влияния химического состава, температурных режимов охлаждения сплавов в литейной форме на структуру металлической основы, тип карбидной фазы, морфологию, фазовый состав эвтектических композиций, механические свойства, износостойкость чугунов, легированных ванадием и комплексами V-C-Cu-Ti-B, V-Cr.

2. Выявлены особенности формирования структуры сплавов, оксидных слоев, распределение элементов между структурными составляющими поверхности окисления, износостойкости, окалиностойкости и ростоустойчивости в зависимости от условий охлаждения при затвердевании жароизносостойких чугунов, легированных комплексами Cr-Mn-Ni-Ti, Cr-Mn-Ni-Al-Ti, Cr-Mn-Ni-Nb-Ti, Cr-Mn-Ni-Al-Nb-Ti.

3. Определены составы КЛБЧ в зависимости от условий охлаждения сплава в форме, обеспечивающие максимальные механические свойства, износостойкость и жаростойкость отливок специального назначения.

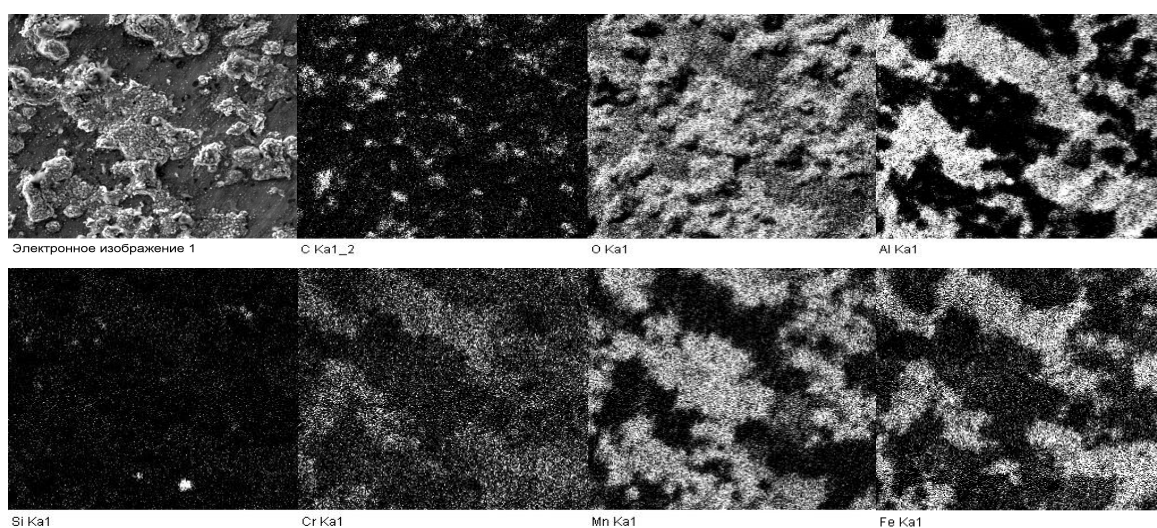


Рис. 5. Электронное изображение окисленной поверхности сплава системы Fe-C-Cr-Mn-Ni-Al-Ti и поэлементное картирование, $\times 2000$

Список литературы

1. Жуков А.А., Сильман Г.И., Фрольцов М.С. Износостойкие отливки из комплексно-легированных белых чугунов. М.: Машиностроение, 1984. 104 с.
2. Бобро Ю.Г. Легированные чугуны. М.: Metallurgy, 1976. 288 с.
3. Металловедение, физика и механика применительно к процессу обработки графитированных материалов. Структура и износостойкость инструментов: монография / Емелюшин А.Н., Мирзаев Д.А., Мирзаева Н.М., Петроченко Е.В. и др.; под общ. ред. А.Н. Емелюшина и Д.А. Мирзаева. Магнитогорск: МГТУ, 2002. 200 с.
4. Комплексно-легированные белые чугуны функционального назначения в литом и термообработанном состоянии / Ри Э.Х., Ри Хосен, Колокольцев В.М., Петроченко Е.В. и др. Владивосток: Дальнаука, 2006. 275 с.
5. Сильман Г.И. Термодинамика и термодинамика структурообразования в чугунах и сталях. М.: Машиностроение, 2007. 302 с.
6. Гарбер М.Е. Износостойкие белые чугуны: свойства, структура, технология, эксплуатация. М.: Машиностроение, 2010. 280 с.
7. Bedolla-Jacuinde A., Aguilar S.L., and Hernandez B. Eutectic Modification in a Low-Chromium White Cast Iron by a Mixture of Titanium, Rare Earths and Bismuth: I. Effect on Microstructure, Journal of Materials Engineering and Performance, vol. 14(2), 2005, pp. 149-157.
8. Neville A., Reza F., Chiovelli S. and Revega T. Characterization and Corrosion Behavior of High-Chromium White Cast Irons, Journal Metallurgical and Materials Transactions A, vol. 37F, 2006, pp. 2339-2347.
9. Karantzalis A.E., Lekatou A., Kapoglou A., Mavros H. and Dracopoulos V. Phase Transformations and Microstructural Observations During Subcritical Heat Treatments of a High-Chromium Cast Iron, Journal of Materials Engineering and Performance, 2012, pp. 1030-1039.
10. Sain P.K., Sharma C.P. and Bhargava A.K. Microstructure Aspects of a Newly Developed, Low Cost, Corrosion-Resistant White Cast Iron, Journal Metallurgical and Materials Transactions A, vol. 44F, 2013, pp. 1665-1671.
11. Yoganandh J., Natarjan S. and Kumaresh S.P. Babu, Erosive Wear Behavior of Nickel-Based High Alloy White Cast Iron Under Mining Conditions Using Orthogonal Array, Journal of Materials Engineering and Performance, vol. 22(9), 2013, pp. 2534-2540.
12. Петроченко Е.В. Взаимосвязь химического состава, структуры и свойств комплексно-легированных белых чугунов в литом состоянии // Изв. вузов. Черная металлургия. 2012. №3. С. 51-55.
13. Формирование структуры и свойств ванадиевых чугунов при их затвердевании / Колокольцев В.М., Петроченко Е.В., Емелюшин А.Н., Потанов М.Г. // Изв. вузов. Черная металлургия. 2005. №4. С. 41-43.
14. Kolokoltsev V.M., Petrochenko E.V. Structure Feature And Properties Of High-Alloy White Irons. // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2013, no. 5(45). pp. 3-8.
15. Колокольцев В.М., Петроченко Е.В., Молочкова О.С. Влияние химического состава, условий охлаждения при затвердевании на структуру и свойства жароизносостойких комплексно-легированных железоуглеродистых сплавов // Технология металлов. 2013. №1. С. 10-14.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

STRUCTURE AND PROPERTIES OF WHITE IRONS OF DIFFERENT ALLOYING SYSTEMS

Kolokoltsev Valeriy Mikhailovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Rector of Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519)29-84-02. E-mail: kwm@magtu.ru.

Petrochenko Elena Vasilyevna – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: evp3738@mail.ru

Konopka Zbignev – D.Sc. (Eng.), Professor, Head of Foundry department, Czestochowa University of Technology, Poland.

Abstract. The characteristics of structure forming and properties of white irons of different alloying systems depending on the composition and cooling conditions during solidification were studied. The research group has analyzed the distinctive features of the influence of white iron chemistry and cooling temperature conditions of alloys in the mould on the metal matrix structure, carbide phase type, eutectic compositions morphology, mechanical properties, wear and heat resistance of complex alloyed white irons.

Keywords: white irons, microstructure, eutectic compositions, carbide phase, metal structure, phase composition, wear resistance, heat resistance.

References

1. Zhukov A.A., Silman G.I., Froltsov M.S. *Iznosostoykie otlivki iz kompleksno-legirovannykh belykh chugunov* [Wear resistant complex alloyed white iron castings]. Moscow: Machine building, 1984, 104 p.
2. Bobro Yu.G. *Legirovannyye chuguny*. [Alloyed cast irons]. Moscow: Metallurgy, 1976, 288 p.
3. Emelushin A.N., Mirzaev D.A., Mirzaeva N.M., Petrochenko E.V. et al. *Metallovedenie, fizika i mehanika primenitelno k protsessu obrabotki grafitirovannykh materialov. Struktura i iznosostoykost instrumentov: monografiya* [Metal science, physics and mechanics in graphitized material processing. Tool structure and wear resistance]. Ed. A.N. Emelushin and D.A. Mirzaev. Magnitogorsk: MSTU, 2002, 200 p.
4. Ri E.H., Ri Hosen, Kolokoltsev V.M., Petrochenko E.V. et. al. *Kompleksno-legirovannyye belye chuguny funktsionalnogo naznacheniya v litom i termoobrabotannom sostoyaniyah* [Functional complex alloyed white irons in the as-cast and heat treated states]. Vladivostok: Dalnauka, 2006, 275 p.
5. Silman G.I. *Termodinamika i termokinetika strukturoobrazovaniya v chugunah i stalyah* [Thermodynamics and thermo kinetics of structure forming in cast irons and steels]. Moscow: Machine building, 2007, 302 p.
6. Garber M.E. *Iznosostoykie belye chuguny: svoystva, struktura, tehnologiya, ekspluatatsiya* [Wear resistant white irons: properties, structure, technology, operation]. Moscow: Machine building, 2010, 280 p.
7. Bedolla-Jacuinde A., Aguilar S.L. and Hernandez B. Eutectic Modification in a Low-Chromium White Cast Iron by a Mixture of Titanium, Rare Earths and Bismuth: I. Effect on Microstructure, Journal of Materials Engineering and Performance, vol. 14(2), 2005, pp. 149-157.
8. Neville A., Reza F., Chiovelli S., and Revega T. Characterization and Corrosion Behavior of High-Chromium White Cast Irons, Journal Metallurgical and Materials Transactions A, vol. 37F, 2006, pp. 2339-2347.
9. Karantzalis A.E., Lekatou A., Kapoglou A., Mavros H. and Dracopoulos V. Phase Transformations and Microstructural Observations During Subcritical Heat Treatments of a High-Chromium Cast Iron, Journal of Materials Engineering and Performance, 2012, pp. 1030-1039.
10. Sain P.K., Sharma C.P., and Bhargava A.K. Microstructure Aspects of a Newly Developed, Low Cost, Corrosion-Resistant White Cast Iron, Journal Metallurgical and Materials Transactions A, vol. 44F, 2013, pp. 1665-1671.
11. Yoganandh J., Natarjan S. and Kumaresh S.P. Babu, Erosive Wear Behavior of Nickel-Based High Alloy White Cast Iron Under Mining Conditions Using Orthogonal Array, Journal of Materials Engineering and Performance, vol. 22(9), 2013, pp. 2534-2540.
12. Petrochenko E.V. Relationship between chemistry, structure and properties of complex alloyed white irons in as-cast state. *Izv. vuzov. Chernaya metallurgiya* [Proceedings of universities. Non-ferrous metallurgy]. 2012, no. 3, pp. 51-55.
13. Kolokoltsev V.M., Petrochenko E.V., Emelushin A.N., Potapov M.G. Structure forming and properties of vanadium cast irons during solidification. *Izv. vuzov. Chernaya metallurgiya* [Proceedings of universities. Non-ferrous metallurgy]. 2005, no. 4, pp. 41-43.
14. Kolokoltsev V.M., Petrochenko E.V. Structure Feature And Properties Of High-Alloy White Irons. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2013, no. 5 (45). pp. 3-8.
15. Kolokoltsev V.M., Petrochenko E.V., Molochkova O.S. Influence of chemistry and cooling conditions during solidification on structure and properties of heat resistant complex alloyed iron carbon alloys. *Tehnologiya metallov* [Process metallurgy]. 2013, no. 1, pp. 10-14.

От редакции

Кафедра металлургии черных металлов МГТУ им. Г.И. Носова с 75-летней историей известна в России и за рубежом. Основателем научной школы по доменному производству был проф., д-р техн. наук М.А. Стефанович, по сталеплавильному производству – проф., д-р техн. наук А.М. Бигеев. В настоящее время активные научные изыскания ведутся зав. кафедрой, проф., д-р техн. наук В.А. Бигеевым, проф., д-р техн. наук А.М. Столяровым, проф., д-р техн. наук С.К. Сибатуллиним, проф., канд. техн. наук В.Н. Селивановым, доцентами, канд. техн. наук Ю.А. Колесниковым, Б.А. Будановым, В.Г. Дружковым и другими сотрудниками кафедры. Для решения актуальных научных и производственных проблем тесные связи поддерживаются с металлургическими предприятиями: ОАО «ММК», ОАО «НТМК», ОАО «Мечел», ОАО «Ижсталь», ОАО «Уральская сталь», ЗАО «ММК-Metalurji» (Турция), с учеными кафедры металлургии и материалообработки Индийского института технологии (г. Мумбай).

УДК 621.746.047:621.746.628:669.412

О СПОСОБАХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ СТАЛЬНОЙ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ

Столяров А.М.¹, Сомнат Басу², Потапова М.В.¹, Дидович С.В.¹

¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

² Индийский институт технологии, г. Мумбай

Аннотация. Ученые кафедры металлургии черных металлов института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» и кафедры металлургии и материалообработки Индийского института технологии (г. Мумбай) объединились в творческий коллектив. В рамках российско-индийского сотрудничества этот коллектив исследует возможность воздействия на процесс формирования стальной непрерывнолитой заготовки с целью получения измельченной структуры металла. В статье рассмотрены основные способы внешних воздействий на кристаллизующийся металл непрерывнолитой заготовки с целью улучшения его качества.

Ключевые слова: непрерывнолитая заготовка, качество, внешние воздействия, структура.

Введение

Ученые кафедры металлургии черных металлов института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» и кафедры металлургии и материалообработки Индийского института технологии (г. Мумбай) объединились в творческий коллектив. В рамках российско-индийского сотрудничества этот коллектив исследует возможность воздействия на процесс формирования стальной непрерывнолитой заготовки с целью получения измельченной структуры металла.

Основные способы внешнего воздействия на кристаллизующийся металл

В статье рассматриваются такие способы внешнего воздействия на кристаллизующийся металл, которые не приводят к изменению размеров поперечного сечения отливаемой заготовки, что характерно, например, для обжата заготовки с жидкой сердцевиной в процессе разлива [1].

Рассматриваемые способы внешних воздействий условно делятся на три большие группы: статические, динамические и смешанные [2, 3].

К статическим способам относятся следующие:

– введение через мениск металла в кристаллизатор экзогенных центров кристаллизации (модификаторов, инокуляторов);

– регулирование интенсивности охлаждения зеркала металла в кристаллизаторе (принудительное, электронно-лучевой обогрев, электрошлаковый обогрев, плазменный обогрев, вакуумно-дуговая подпитка и др.);

– введение через мениск металла в кристаллизатор водоохлаждаемых холодильников без динамического воздействия.

Динамические способы воздействия:

– механическое перемешивание металла при помощи специальных мешалок или продувки аргоном в кристаллизаторе, промежуточном и сталеразливочном ковшах;

– электромагнитное перемешивание (индукционное, кондукционное) металла в кристаллизаторе и в зоне вторичного охлаждения;

– генерирование упругих колебаний вибрационными и виброимпульсными преобразователями в кристаллизаторе и в зоне вторичного охлаждения.

Смешанные способы представляют собой:

– введение через мениск металла в кристаллизатор расходуемых холодильников (ленты, проволоки, гранул и др.);

– введение через мениск металла в кристаллизатор водоохлаждаемых холодильников с динамическим воздействием;

– продувка через мениск металла в кристаллизаторе аргоном с порошками;

– газоимпульсная обработка, заключающаяся в

периодическом вакуумном всасывании металла и последующем его выталкивании через огнеупорный металлопровод в полость кристаллизатора.

Из рассмотренных статических способов внешнего воздействия перспективным является введение через мениск металла в кристаллизатор модификаторов, инокуляторов. Модифицирование [4] представляет собой процесс искусственного изменения структуры (измельчения, диспергирования) под воздействием небольших количеств специально вводимых добавок. При этом изменяются вид, форма и характер распределения неметаллических включений, что в целом приводит к улучшению механических и технологических свойств стали. Модификаторы первого рода являются инокуляторами – это тугоплавкие примеси и их соединения, способные стать зародышевой фазой, превратиться в центры кристаллизации. К элементам-инокуляторам относятся ванадий, ниобий, титан, бор. При затвердевании стали образуются карбонитриды этих элементов, выступающие в качестве центров кристаллизации металла. В сталь достаточно ввести 0,03-0,12% ванадия или 0,02-0,05% ниобия для повышения прочности, хладостойкости, снижения абразивного износа в результате измельчения зерна и упрочнения дисперсными карбонитридами.

Модификаторы второго рода – ингибиторы представлены поверхностно-активными примесями, ограничивающими рост кристаллов (зерен). Они имеют ограниченную растворимость в жидкой фазе. К таким примесям относятся щелочноземельные элементы – кальций, магний, барий.

Редкоземельные металлы, например церий и лантан, являются переходными элементами по влиянию на структуру металла, обладающими свойствами как инокуляторов, так и ингибиторов.

Лучшие результаты по усвоению жидким металлом и влиянию на служебные свойства стали получаются при совместном применении хотя бы по одному элементу из каждой группы модификаторов, например ванадия или ниобия совместно с кальцием – комбинированных модификаторов. Такие модификаторы могут также включать в себя модификаторы первого рода – инокуляторы и переходные модификаторы (редкоземельные металлы). Комплексные модификаторы могут состоять из нескольких модификаторов первого рода.

Введение модификаторов в процессе разливки металла в промежуточный ковш или в кристаллизатор позволяет существенно снизить угар легкоокисляющихся элементов и повысить эффективность обработки металла. Для введения модификаторов в виде мелких кусковых материалов рекомендуется широко использовать бункера с дозирующими устройствами, в виде наполнителей порошковой проволоки – трайб-аппараты. Следует отметить, что введение присадок на самой поздней стадии – в кристаллизатор требует соблюдения высокой стандартизации процесса разливки металла.

Из динамических способов внешних воздействий наиболее популярным является электромагнитное перемешивание металла [5]. Внутри отливаемой заготовки в лунке жидкого металла создаются циркуляци-

онные потоки, которые усиливают теплоперенос и снимают перегрев расплава над температурой ликвидуса, обламывают вершины столбчатых кристаллов, создавая дополнительные центры кристаллизации. Это ведет к уменьшению ширины столбчатых кристаллов и увеличению ширины зоны равноосных кристаллов, что повышает пластичность металла, снижает осевую ликвацию и опасность образования трещин.

Кроме улучшения внутреннего строения заготовки возможно решение и другой задачи – повышение качества поверхности заготовки и подповерхностной зоны вследствие образования равномерной по всему периметру толщины корочки затвердевшего металла, снижения количества неметаллических включений в металле и вероятности образования газовых пузырей. Для этого применяется электромагнитное торможение, когда гидродинамические потоки, создаваемые электромагнитными силами, уменьшают турбулентность и скорость потоков расплава из отверстий погружного стакана.

Различают индуктивный и кондуктивный способы электромагнитного перемешивания. По первому способу с помощью индукционных катушек создается переменное магнитное поле, наводящее в расплаве внутри заготовки вихревые токи Фуко. В результате взаимодействия токов с магнитным полем возникают электромагнитные силы, вызывающие вынужденную циркуляцию расплава. По второму способу при помощи электромагнитов создается постоянное магнитное поле, а через заготовку пропускается постоянный электрический ток. При этом возникают результирующие силы, перпендикулярные направлению движения тока и магнитным силовым линиям.

Индуктивный способ имеет низкий коэффициент полезного действия, поэтому необходимо применять индукторы большой мощности и габаритов, что вызывает сложности с их размещением. При кондуктивном способе через ролики должен подводиться ток большой величины, между роликом и заготовкой может образоваться дуга, вызывающая оплавление металла и нарушение работы устройства ЭМП. Чаще всего применяются индуктивные электромагнитные устройства на сортовых МНЛЗ.

В ЭСПЦ ОАО «ММК» кристаллизаторы сортовой пятиручьевого МНЛЗ радиального типа оборудованы устройствами электромагнитного перемешивания металла фирмы «ABB Automation Systems». Это устройство представляет собой укороченную катушку, расположенную с внешней стороны нижней части гильзы кристаллизатора. Для изучения влияния параметров ЭМП на процесс формирования кристаллических зон заготовки и развитие химической неоднородности металла были проведены исследования при непрерывной разливке стали с содержанием углерода 0,65-0,90% [6]. Разливка стали осуществлялась открытой струей на заготовки сечением 150×150 мм со скоростью вытягивания 2,3-2,5 м/мин. В ходе исследований варьировались частота тока в диапазоне 3,0-5,5 Гц при постоянной величине силы тока 400 А, а также сила питающего устройства тока в интервале 300-500 А при постоянной частоте тока 3,5 Гц. В результате было установлено, что ЭМП металла позволяет уменьшить ширину зоны столбчатых кристаллов

с анизотропными свойствами металла и увеличить площадь зоны крупных равноосных кристаллов с изотропными свойствами. Наиболее сильное влияние на размеры зоны крупных равноосных кристаллов оказывает сила тока, питающего устройство для ЭМП, по сравнению с частотой тока (рис. 1).

Однако наряду с положительным влиянием ЭМП на качество заготовки было отмечено увеличение количества прорывов корочки затвердевшего металла заготовки под кристаллизатором. Толщина оболочки аварийного «чулка» была на 1-3 мм меньше в случае использования ЭМП металла вследствие чрезмерно интенсивной циркуляции расплава, вызывающей размывание затвердевшей корочки.

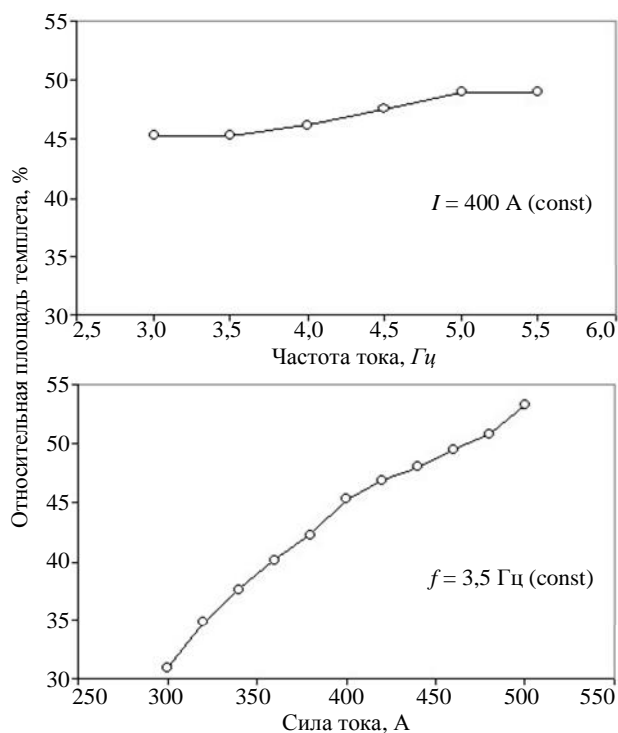


Рис. 1. Зависимость относительной площади темплетта сортовой заготовки, занимаемой крупными равноосными кристаллами, от частоты тока (вверху) и силы тока (внизу) в устройстве ЭМП

Для дальнейших исследований был рекомендован режим перемешивания с пониженными значениями частоты и силы тока: 3,5 Гц и 350 А. Применение такого режима позволило полностью исключить прорывы металла по трещинам и уменьшить общее количество прорывов корочки заготовки под кристаллизатором на 86% (отн.). При изучении качества макроструктуры стали марок 70 и 85, разливаемой закрытой струей, установлено (рис. 2), что при использовании разработанного режима ЭМП степень развития дефекта «центральная пористость» заготовки снижается примерно вдвое – в среднем с 1,3 до 0,7 балла.

Широко опробован способ смешанного воздействия на кристаллизующийся металл, заключающийся во введении через мениск металла в кристаллизаторе расходуемых микрохолодильников в виде дисперсных инокуляторов или макрохолодильников в виде ленты.

Характер взаимодействия макрохолодильников с расплавом определяется температурой холодильника, величиной перегрева стали над температурой ликвидуса, соотношением размеров холодильника и кристаллизатора.

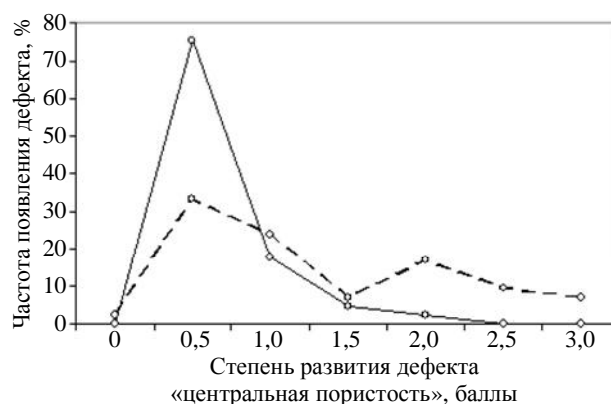


Рис. 2. Результаты оценки дефекта «центральная пористость» в сортовой заготовке из стали марок 70 и 85 при разливке закрытой струей с ЭМП (сплошная линия) и без ЭМП (пунктирная линия)

Для механизированного ввода ленты в жидкую лунку заготовки используется установка, схема которой представлена на рис. 3.

При опытном опробовании применялась лента из стали марок 45 и Ст.5пс толщиной 1,6 мм и шириной 380 мм в рулоне массой 2,3 т. Установлена зависимость скорости ввода ленты при условии ее гарантированного расплавления от скорости вытягивания из кристаллизатора слябов сечением (250-300)×(1550-1850) мм и от величины перегрева металла в промежуточном ковше над температурой ликвидуса [7].

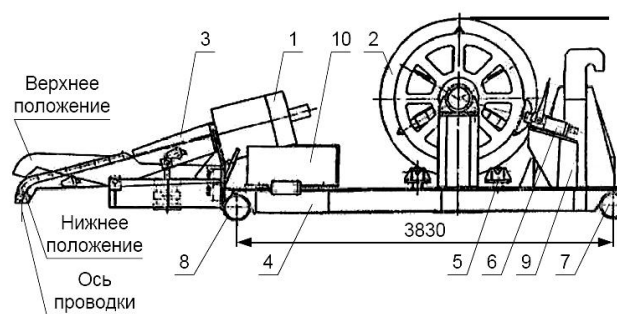


Рис. 3. Схема установки для ввода стальной ленты в кристаллизатор на металлургическом предприятии «Азовсталь» [1, с. 116]: 1 – тянуще-правильное устройство; 2 – кассета; 3 – направляющая; 4 – рама; 5 – опорные катки; 6 – устройство для торможения; 7, 8 – колеса установки; 9 – маршевый двигатель; 10 – двигатель тянуще-правильного устройства

Ввод ленты в расплав позволяет быстро снять перегрев металла, ускорить процесс затвердевания, в результате чего осевая химическая неоднородность сляба уменьшается с 1,0-2,0 до 0-0,5 балла, а степень развития внутренних трещин – на 0,5-1,0 балла.

Заключение

Выполненный обзор способов внешнего воздействия на кристаллизующийся металл непрерывнолитой заготовки будет способствовать правильному выбору направления исследования для коллектива российско-индийских ученых-металлургов.

Список литературы

1. Мошкун В.В., Столяров А.М., Казаков А.С. Снижение осевой химической неоднородности трубной стали в результате мягкого обжата непрерывнолитого сляба // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. №2(38). С. 24-25.

2. Паршин В.М., Буланов Л.В. Непрерывная разливка стали. Липецк: ОАО «НЛМК», 2011. 221 с.
3. Скворцов А.А., Акименко А.Д., Ульянов В.А. Влияние внешних воздействий на процесс формирования слитков и заготовок. М.: Металлургия, 1991. 216 с.
4. Голубцов В.А. Теория и практика введения добавок в сталь вне печи. Челябинск, 2006. 403 с.
5. Столяров А.М., Селиванов В.Н. Непрерывная разливка стали. Ч. 1. Конструкция и оборудование МНЛЗ: учеб. пособие. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. 154 с.
6. Столяров А.М., Великий А.Б., Юречко Д.В. Повышение эффективности разливки стали на высокопроизводительных сортовых МНЛЗ: монография. Магнитогорск: МГТУ, 2009. 126 с.
Исаев О.Б. Создание комплексной технологии улучшения внутреннего строения непрерывнолитого сляба из низколегированных сталей: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.02. М., 2010. 39 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

ABOUT THE METHODS OF IMPACT ON THE STEEL CONTINUOUS CASTING BILLET FORMING

Stolyarov Alexander Mihajlovich – D.Sc. (Eng), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519)29-84-49. E-mail: mcm@magtu.ru.

Somnath Basu – Teaching Assistant, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai. Phone: +912225767613. E-mail: somnathbasu@iitb.ac.in.

Potapova Marina Vasilyevna – Ph.D. (Eng), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519)29-84-49. E-mail: mcm@magtu.ru.

Didovich Sergey Vladimirovich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519)29-84-49. E-mail: mcm@magtu.ru.

Abstract. The scientists of the Ferrous Metallurgy Department, Institute of Metallurgy, Mechanical Engineering and Materials Processing, Nosov MSTU and colleagues from Department of Metallurgical Engineering and Materials Science, Indian Institute of Technology Mumbai have organized a working group. This group within the Russian-Indian collaboration investigates the possibility of the impact on the process of steel continuous casting billet in order to produce a fine metal structure. The basic methods of external influences on solidified metal in billet in order to improve its quality are described in the article.

Keywords: billets, quality, external influences.

References

1. Moshkunov V.V., Stolyarov A.M., Kazakov A.S. Decrease of axial chemical heterogeneity in tube steels during soft-reduction of continuous casting slabs. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2012, no. 2 (38), pp. 24-25.
2. Parshin V.M., Bulanov L.V. *Nepreryvnaya razlivka stali* [Continuous cast

ing of steel]. Lipetsk: «NLMK» OJSC, 2011, 221 p.

3. Skvortsov A.A., Akimenko A.D., Ulyanov V.A. *Vliyanie vneshnih vozdeystviy na protsess formirovaniya slitkov i zagotovok* [Influence of external impacts on the forming of ingots and billets]. Moscow: Metallurgy, 1991, 216 p.
4. Golubtsov V.A. *Teoriya i praktika vvedeniya dobavok v stal vne pechi* [Theory and practice of adding the additives in the steel outside the furnace]. Chelyabinsk, 2006, 403 p.
5. Stolyarov A.M., Selivanov V.N. *Nepreryvnaya razlivka stali. Ch. 1. Konstruktsiya i oborudovanie MNLZ: ucheb. posobie* [Continuous casting of steel. Part One. Construction and equipment CCM: Textbook]. Magnitogorsk, 2007, 154 p.
6. Stolyarov A.M., Velikii A.B., Yurechko D.V. *Povyshenie effektivnosti razlivki stali na vysokoproizvoditelnykh sortovykh MNLZ: monografiya* [Improving the efficiency of casting on high-grade casters: monograph]. Magnitogorsk, 2009, 126 p.
7. Isaev O.B. *Sozdanie kompleksnoy tekhnologii uluchsheniya vnutrennego stroeniya nepreryvnolitogo slyaba iz nizkolegirovannykh staley* [Creating of complex technology for improvement of continuous cast slabs internal structure in low-alloy steels]. Extended abstract of Ph.D. dissertation, Moscow, 2010, 39 p.

От редакции

Кафедра «Литейное производство и материаловедение» МГТУ им. Г.И. Носова была образована в 2013 году путем слияния кафедр «Электрометаллургия и литейное производство» и «Материаловедение и термическая обработка металлов». В настоящее время на кафедре ЛП и М работает 8 докторов технических наук, из них 7 профессоров, 7 доцентов, старшие преподаватели, ассистенты и учебно-вспомогательный персонал. Научные разработки коллектива кафедры выполняются в рамках научной школы «Развитие теории и технологий металлургического производства», по научным направлениям: «Развитие теории и технологии литейных сплавов и процессов» (руководители – д-р техн. наук, проф. Колокольцев В.М., д-р техн. наук, проф. Вдовин К.Н.) и «Повышение эксплуатационной стойкости деталей и оборудования, работающих в условиях абразивного изнашивания и агрессивного воздействия окружающей среды» (руководитель – д-р техн. наук, проф. Емелюшин А.Н.).

Лаборатории кафедры оснащены современным оборудованием для обеспечения учебного процесса и выполнения научно-исследовательских работ. Для научных исследований широко привлекаются студенты 3-5 курсов. Лучшие студенты продолжают научную работу в аспирантуре. Обобщенные результаты исследований представляются в виде монографий, учебников, учебных и методических пособий, изобретений, статей, отчетов и используются в процессе обучения студентов.

УДК 669.01 / 669.018.28

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПОЛЯ СИСТЕМЫ ОТЛИВКА–ЛИТЕЙНАЯ ФОРМА В УСЛОВИЯХ НЕРАВНОВЕСНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ КОМПЛЕКСНОЛЕГИРОВАННЫХ СПЛАВОВ

Колокольцев В.М., Вдовин К.Н., Савинов А.С., Сеницкий Е.В.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы расчета температурных полей в системе расплав – отливка–литейная форма, тепловая задача в системе расплав – затвердевший сплав – литейная форма рассматривается в аспекте постановки и решения нестационарной задачи Стефана.

Ключевые слова: отливка, сплав, литейная форма, температура, теплоемкость, теплопроводность.

Введение

Основную роль в формировании отливки и ее свойств играют химический состав сплава и теплофизические характеристики технологических процессов получения отливок. Для литья сплавов со специальными свойствами – износостойких, теплостойких, коррозионностойких тепловые процессы играют главенствующую роль. Это объясняется тем, что для этих типов сплавов необходимо учитывать широкие возможности управления макро- и микроструктурой, а как следствие, механическими, специальными и служебными свойствами [1]. В связи с этим исследование теплообмена между отливкой и формой с целью определения и прогнозирования температурных полей имеет важное значение как с теоретической, так и практической точки зрения.

Основная часть

К теоретическим и практическим задачам производства отливок из сплавов специального назначения, которые решают методами теории литья, можно отнести определение закона изменения температуры и затвердевания отливки в зависимости от характеристик литейных форм, теплофизических свойств их материалов. Решение этих задач позволяет установить закономерности формирования микро- и макроструктуры отливки, прогнозировать режимы

охлаждения отливки и ее взаимодействие с литейной формой, оценивать такие характеристики процессов литья, как линейную скорость затвердевания, перепады температур между элементами отливки. Зная указанные параметры процессов литья, химический состав сплава, можно оценить расчетным путем характеристики формирующейся макро- и микроструктуры, механические, служебные и специальные свойства получаемых отливок [2].

Процессы теплопереноса описываются нелинейными дифференциальными уравнениями, с дополнительным рядом слагаемых и граничными условиями. Классическая задача Стефана рассматривает фазовые превращения с участием твердой фазы: твердое тело – жидкость. В современной интерпретации задача Стефана представляет собой класс математических моделей, описывающих тепловые, диффузионные или термодиффузионные процессы, сопровождающиеся фазовыми превращениями среды и поглощением или выделением скрытой теплоты. Математические модели в этом случае должны учитывать наличие подвижных заранее неизвестных границ фазового перехода.

Зона кристаллизации большинства литейных сплавов представляет собой двухфазную область, для которой четко определить фронт кристаллизации невозможно. Такую область кристаллизации можно отнести к дисперсным средам (рис. 1). Двухфазная зада-

ча Стефана может быть записана и без явного выделения фронта фазового перехода с помощью введения эффективной объемной теплоемкости среды. Теплоту фазового перехода можно учесть, если принять, что внутренняя энергия системы «расплав – затвердевший сплав» представляет собой разрывную функцию температуры и ввести сосредоточенную теплоемкость среды системы.

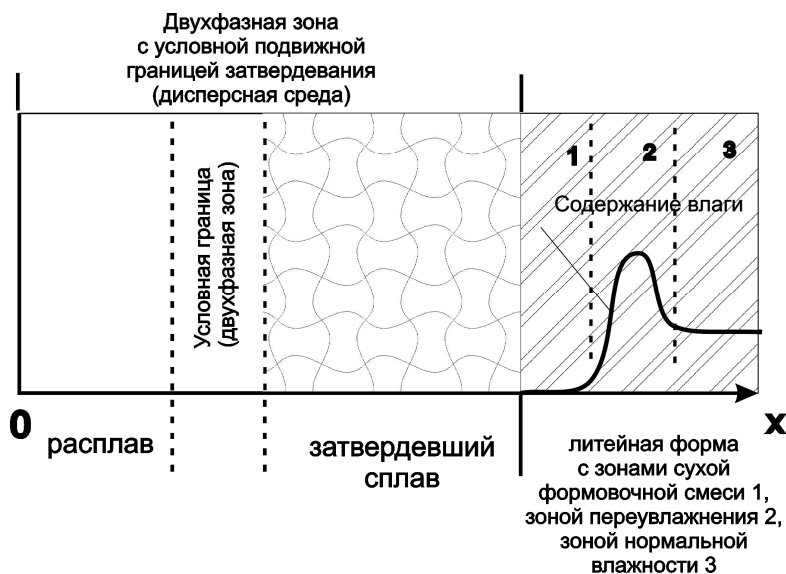


Рис. 1. Схема зон системы расплав – затвердевший сплав – литейная форма

При этом внутренняя энергия единицы объема среды ϵ как функция температуры при $u = u^* = 0$ скачком меняется на величину теплоты фазового перехода, т.е. [3, 4]

$$\epsilon = \int_0^u c(u) \rho(u) du + Q\eta(u), \quad (1)$$

$$\eta(u) = \begin{cases} 1, u > 0, \\ 0, u < 0 \end{cases}$$

где $\eta(u)$ – функция Хэвисайда, производная которой dn/du есть дельта $\delta(u)$.

Дифференцируя внутреннюю энергию ϵ по температуре, получим выражение для эффективной объемной теплоемкости среды с учетом теплоты фазового перехода:

$$c_{эф} = c(u) \rho(u) + Q\delta(u). \quad (2)$$

Тепловое состояние системы с учетом фазового перехода при этом описывается уравнением теплопроводности

$$\left(c(\xi, u) \rho(\xi, u) + Q\delta(u - u^*) \right) \frac{\partial u}{\partial t} = \text{div}(\lambda(\xi, u) \text{grad } u) + s(\xi, t), \quad (3)$$

где $\xi = \xi_1, \xi_2, \xi_3$ – вектор пространственных координат; c – удельная теплоемкость; ρ – плотность; λ – коэффициент теплопроводности; $u(\xi, t)$ – температура среды; u^* – температура фазового перехода; Q – теплота фазового перехода; s – мощность внутренних источников тепла; $\delta(u - u^*)$ – дельта-функция.

Сложность определения температурных полей в системе отливка – форма определяется наличием, как минимум, трех зон с различными теплофизическими характеристиками, а именно: расплав, затвердевший сплав и материал литейной формы. Также следует учесть, что теплофизические характеристики указанных сред являются функциями температуры. И если систему расплав – затвердевший сплав можно описать в рамках нестационарной задачи Стефана, то процессы, протекающие в материале литейной формы, требуют дополнительного описания.

Рассмотрим вопрос о нахождении теплоемкости формовочной смеси сырой песчано-глинистой формы (ПГФ) как наиболее часто применяемой в условиях литейного производства и наиболее сложной для расчетов, так как необходимо учесть влияние максимального числа факторов [5].

Тепловой баланс i -го элементарного объема формы запишется как

$$Q^i - (Q_{см}^i + Q_{воды}^i + Q_{исп}^i) = 0, \quad (4)$$

где $Q_{см}^i$ – тепло, затраченное на прогрев слоя смеси, Дж/кг_{смеси}; $Q_{воды}^i$ – тепло, затраченное на нагрев воды, содержащейся в 1 кг смеси, Дж/кг_{смеси}; $Q_{исп}^i$ – тепло, затраченное на парообразование влаги в 1 кг смеси, Дж/кг_{смеси}.

Для расчета тепла, затраченного на нагрев формы, требуется найти значение удельной теплоемкости для каждого из слагаемых выражения (4).

Температурное изменение теплоемкости в процессе нагрева сухого слоя смеси в первом приближении можно выразить через удельную теплоемкость основного компонента ПГФ – оксида кремния SiO_2 по следующей формуле [6]:

$$C_{SiO_2} = 925,5 + 184,33T_i^n \cdot 10^{-3}, \quad (5)$$

где C_{SiO_2} – удельная теплоемкость оксида кремния, Дж/кг·К.

Значение теплоемкости, рассчитанное по выражению (5), используется при расчете теплового поля сухих ПГФ.

При расчете температурного поля сырой ПГФ требуется учет теплоты парообразования при выс-

хании слоя смеси под воздействием теплового потока отливки. Этот учет осуществим за счет изменения в сторону увеличения теплоемкости формы на температурном интервале ($T_{исп} - T_0$) таким образом, чтобы выполнялось условие теплового баланса, отнесенное на 1 кг смеси [6]:

$$\int_{T_0}^{T_{исп}} C_{доб(2)} dT = L \frac{U_0}{100}, \quad (6)$$

где ($T_{исп} - T_0$) – температурный интервал полного испарения влаги в слое формы, К; $C_{доб(2)}$ – добавочное значение теплоемкости, компенсирующее теплопоглощение при парообразовании и нагреве начальной влажности смеси на температурном отрезке ($T_{исп} - T_0$), Дж/кг·град·К; $T_{исп}$ – температура полного испарения влаги в i -м слое смеси, $T_{исп} = 373$ К; U_0 – начальная влажность формы, %; L – теплота парообразования воды, $L = 2,26 \cdot 10^6$ Дж/кг.

Таким образом, эквивалентная объемная теплоемкость $C_{экв(2)}$ слоя формы с учетом затрат тепла на нагрев и парообразование влаги в i -м слое смеси может быть отобразена следующей зависимостью:

$$C_{экв(2)} = \rho_{сух} C_{SiO_2} + \rho_{формы} C_{доб(2)}, \quad (7)$$

где $C_{экв(2)}$ – эквивалентная теплоемкость, Дж/м³·К; $\rho_{формы}$, $\rho_{сух}$ – плотность формы и сухого слоя смеси формы при полном испарении влажности, кг/м³.

В первом приближении вид функции распределения добавочной теплоемкости $C_{доб(2)}$ по толщине единичного пространственного интервала незначительно влияет на конечный результат расчета [6]. Однако выбранная функция должна учитывать распределение добавочной теплоемкости так, чтобы ее значение в точке полного испарения влажности $T_{исп}$ было равно нулю. Исходя из этого условия, в качестве функции распределения было выбрано следующее выражение [5]:

$$y = 1 - th^a \left(\frac{x}{2} \right), \quad (8)$$

Адаптируя данную функцию к требуемым условиям, было получено выражение добавочной теплоемкости $C_{доб(2)}$ [6, 7].

$$C_{доб(2)} = K \left(1 - th^{0,672} \exp(2,87 \cdot 10^{-3} U_0^2 + 29,428 \cdot 10^{-2} U_0 - 1,849) \right) \times \left(\frac{T_i^n - T_0}{19,306 - 0,046 U_0 \ln(U_0) - 2,5022 \ln(U_0)} \right) \times \frac{61800}{9,653 - 0,023 U_0 \ln(U_0) - 1,2511 \ln(U_0)}, \quad 2 \leq U_0 \leq 14, \quad (9)$$

где K – поправочный коэффициент ($K = 0,98$).

Учитывая формулы (8), (9), выражение эквивалентной теплоемкости запишется как:

$$C_{экв(2)} = (952,5 + 184,33 \cdot T_i^n \cdot 10^{-3}) \rho_{сух} + K \left(1 - th^{0,672} \exp(2,87 \cdot 10^{-3} U_0^2 + 29,428 \cdot 10^{-2} U_0 - 1,849) \right) \times \left(\frac{T_i^n - T_0}{19,306 - 0,046 U_0 \ln(U_0) - 2,5022 \ln(U_0)} \right) \times \frac{61800 \rho_{формы}}{9,653 - 0,023 U_0 \ln(U_0) - 1,2511 \ln(U_0)}, \quad 2 \leq U_0 \leq 14. \quad (10)$$

Данное выражение учитывает температурное изменение теплоемкости песчано-глинистой смеси, а также тепло, затраченное на нагрев и парообразование влаги в сырой песчано-глинистой литейной форме с влажностью до 14%.

При проведении вычислений целесообразно использовать численные методы и, в частности, метод контрольного объема [4]. В методе контрольного объема расчетная область D делится на параллелепипеды (контрольные объемы), которые характеризуются своим центром. Все теплофизические характеристики материала для каждого КО усредняются по нему. Типичный контрольный объем представлен на рис. 2.

При решении задачи Стефана согласно закону Фурье уравнения теплопроводности (3) можно представить в виде [3]:

$$\rho c_p \frac{\partial u}{\partial t} = - \frac{\partial J_x}{\partial x} - \frac{\partial J_y}{\partial y} - \frac{\partial J_z}{\partial z}, \quad (11)$$

где $J_x = -\lambda \frac{\partial u}{\partial x}$, $J_y = -\lambda \frac{\partial u}{\partial y}$, $J_z = -\lambda \frac{\partial u}{\partial z}$ – плотности теплового потока в направлении осей x , y и z соответственно.

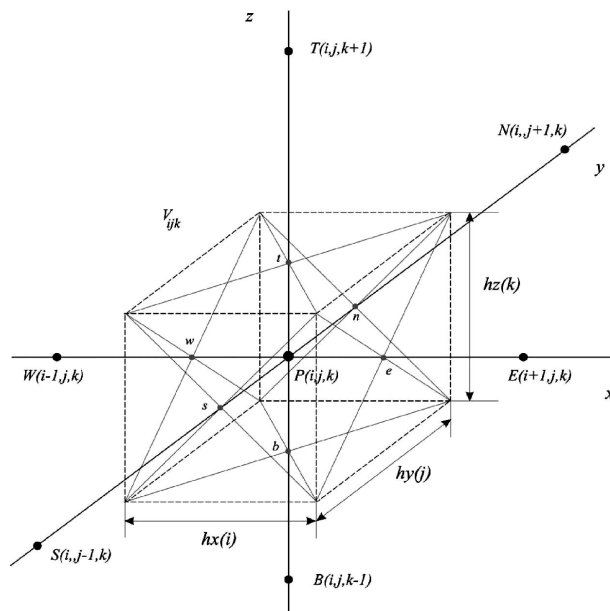


Рис. 2. Расчетная схема метода контрольных объемов

Проинтегрировав уравнение по КО, можно получить:

$$(c\rho)_P \frac{\Delta V}{\Delta t} (u_P - u_P^0) = J_w A_w - J_e A_e + J_s A_s - J_n A_n + J_b A_b - J_t A_t + \bar{s} \Delta V. \quad (12)$$

Верхний индекс «0» обозначает известное значение температуры в начале шага по времени t , J – плотность теплового потока через грань КО, на которую указывает нижний индекс; A – площадь соответствующей грани; \bar{s} – усредненный по объему источниковый член (внутренний источник тепла); V – объем КО, h_x^i , h_y^j , h_z^k – шаги сетки по соответственно по осям x , y , z .

Потоки тепла через грани КО e и w могут быть рассчитаны следующим образом:

$$J_e A_e = D_e (u_P - u_E), J_w A_w = D_w (u_w - u_P), \quad (13)$$

где D_e – проводимость между точками P и E, которая вычисляется по значениям λ в этих точках. Проводимость D_e можно рассчитать по формуле

$$D_e = A_e \frac{2\lambda_E \lambda_P}{\lambda_E h_x(i) + \lambda_P h_x(i+1)}. \quad (14)$$

Подставляя выражения для J и S в (12), можно получить его дискретный аналог:

$$a_P u_P = a_w u_w + a_E u_E + a_N u_N + a_S u_S + a_T u_T + a_B u_B + b, \quad (15)$$

где $a_E = D_e$, $a_w = D_w$, $a_N = D_n$, $a_S = D_s$, $a_T = D_t$,

$$a_B = D_b, b = S_c \Delta V + a_P^0 u_P^0, a_P^0 = \frac{(c\rho)_P \Delta V}{\Delta t},$$

$$a_P = a_w + a_E + a_N + a_S + a_T + a_B + a_P^0 - s_P \Delta V.$$

Для каждого элементарного контрольного объема с внутренней расчетной точкой записывается аналогичный дискретный аналог. С помощью граничных условий в приграничных КО проводятся преобразования, после которых значения u на границе явным образом не будут входить в систему уравнений. В результате получается замкнутая система линейных алгебраических уравнений.

Заключение

Предложенный в публикации подход позволяет получить модель для расчета и прогнозирования температурных полей отливки при ее охлаждении из жидкого расплава, кристаллизации и дальнейшем охлаждении, а также температурных полей литейной формы. Это позволяет прогнозировать характеристики формирующихся при кристаллизации и дальнейшем охлаждении макро- и микроструктур, и как следствие, механические, специальные и служебные свойства отливок.

Список литературы

1. Колокольцев В.М., Гольцов А.С., Сеницкий Е.В. Влияние первичной литой структуры жароизносостойких железоуглеродистых сплавов на их коррозионную стойкость // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. №2 (34). С. 18-23.
2. Абразивная износостойкость литых металлов и сплавов / Колокольцев В.М., Вдовин К.Н., Мулявко Н.М., Сеницкий Е.В. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2004. 228 с.
3. Патанкар С. Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течении в каналах. М.: Изд-во МЭИ, 2003. 312 с.
4. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости: пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1984. 152 с., ил.
5. Савинов А.С., Тубольцева А.С., Варламова Д.В. Расчет теплового поля сырой песчано-глинистой формы // Черные металлы. 2011. С. 36-38.
6. Определение теплоемкости формовочной смеси при расчете теплового поля сырой песчано-глинистой формы / Савинов А.С., Тубольцева А.С., Радомская В.В. и др. // Современная металлургия начала нового тысячелетия : сб. науч. тр. Ч. I. Липецк: ЛГТУ, 2010. С. 32-36.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

TEMPERATURE FIELDS OF THE CASTING – CASTING FORM SYSTEM UNDER UNBALANCED SOLIDIFICATION CONDITIONS FOR COMPLEX ALLOYED STEELS

Kolokoltsev Valeriy Michailovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Rector of Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519)29-84-02. E-mail: kwm@magtu.ru.

Vdovin Konstantin Nikolayevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Head of Foundry and Materials Science department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519)29-84-19.

Savinov Alexander Sergeevich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Head of Theoretical Mechanics and Mechanics of Materials department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8 (3519) 29-85-18. E-mail: Savinov_nis@mail.ru.

Sinitskiy Yevgeniy Valerievich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8 (3519) 29-85-30. E-mail: e-v-s@mail.ru.

Abstract. The paper considered the calculation of temperature fields in the melt – casting – casting form system and the heat objective of the melt – solidified casting – casting mold system is set up and solved as non-stationary Stefan problem.

Keywords: casting, alloy, casting form, temperature, thermal capacity, thermal conductivity.

References

1. Kolokoltsev V.M., Goltsov A.S., Sinitskiy E.V. The influence of the primary cast structure of heat and wear resistant iron-carbon alloys on their corrosion resistance. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2011, no. 2 (34), pp.18-23.
2. Kolokoltsev V.M., Vdovin K.N., Mulyavko N.M., Sinitskiy E.V. *Abrazivnaya*

iznosostoykost lityih metallov i splavov [Abrasive wear resistance of cast metals and alloys]. Magnitogorsk: MSTU, 2004, 228 p.

3. Patankar S. Numerical solution of thermal conductivity and convective heat transfer problems during channel flow. Moscow: MEI Publishing house, 2003, 312 p.
4. Patankar S. *Chislennyye metody resheniya zadach teploobmena i dinamiki zhidkosti: per. s angl.* [Numerical solutions of heat exchange and fluid dynamics problems]. Moscow: Energoatomizdat, 1984. 152 p.
5. Savinov A.S., Tuboltseva A.S., Varlamova D.V. Temperature pattern calculation for the green-sand mold. *Chernyye metally* [Ferrous metals], 2011, pp. 36-38.
6. Savinov A.S., Tuboltseva A.S., Radomskaya V.V. et al. Determination of molding sand mixture thermal capacity at temperature pattern calculation for the green-sand mold. *Sovremennaya metallurgiya nachala novogo tysyacheletiya : sb. nauch. tr.* [Modern metallurgy of the new millenium: Scientific papers. Part I]. Lipetsk: LSTU, 2010, pp. 32-36.

От редакции

В МГТУ им. Г.И. Носова в 2008 году открыт НИИ Наносталей (директор – Барышников М.П.), активно сотрудничающий с учеными Института физики металлов РАН под руководством академика РАН Счастливецова В.М.

НИИ Наносталей успешно провел и ведет цикл комплексных исследований с ведущими предприятиями России: ОАО «ММК», ОАО «ММК-Метиз», ЗТИ «Профит», Судославский завод сварочных материалов, Нижнетагильский металлургический комбинат, Белорецкий металлургический комбинат.

В НИИ НС функционирует комплексная лаборатория, работающая по следующим направлениям: физическое моделирование свойств материалов и процессов термической и деформационной обработки (комплекс GLEEBLE 3500); оптическая микроскопия; электронная микроскопия и микрорентгеноспектральный анализ; математическое моделирование металлургических процессов и технологий; механические испытания.

Возможности и оснащение комплексной лаборатории полностью соответствуют современным мировым стандартам в области металлургии.

Испытание материалов

Возможность проведения комплекса механических испытаний:

– растяжение, сжатие, трехточечный изгиб (универсальные испытательные машины Shimadzu AG-IC 300 и 50 кН, видеоэкстензометр Shimadzu TRWiewX);

– твердость и микротвердость (универсальный твердомер M4C075G3 Emco Test; микротвердомер Buehler Microtest 5103);

– ударная вязкость (копер маятниковый МК 300/150).

Моделирование процессов обработки металлов

Комплекс GLEEBLE 3500 предназначен для исследования свойств металлов и сплавов и позволяет моделировать большинство технологических процессов, таких как: горячие/теплые и холодные испытания материалов; испытание образцов различной геометрии на сжатие и растяжение; раскрытие трещин под действием деформации; плавление и кристаллизация; термоциклическая обработка; дилатометрия; исследование фазовых превращений при нагреве и охлаждении; постоянная и дискретная, изотермическая, последеформационная, термическая и термомеханическая усталость.

Комплекс GLEEBLE 3500 позволяет моделировать следующие процессы: непрерывное литье; обработка в полутвердом состоянии; горячая и холодная прокатка; ковка; экструзия; сварочные циклы; стыковая сварка; диффузионная сварка; непрерывный отжиг проката; термическая обработка; порошковая металлургия; синтез новых материалов и др.

Исследования структуры материалов

Исследования макро- и микроструктуры с использованием следующей приборной базы: сканирующий электронный микроскоп JEOL JSM-6490 LV с системами микрорентгеноспектрального анализа INCA Energy 450 x-MAX 50 Premium и дифракции обратно отраженных электронов HKL Premium EBSD System Nordlys II 2 S; оптический инвертированный микроскоп Meiji Techno 7200, с использованием системы компьютерного анализа изображений Thixomet PRO; анализатор стереоизображений поверхности твердых тел на базе стереомикроскопа Meiji Techno RZ-B.

Возможности комплексной лаборатории НИИ НС позволяют проводить широкий спектр исследований при разработке новых видов продукции и технологий их получения, а также при совершенствовании действующих технологий.

УДК 669.15-194.539.24

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ТЕРМОДЕФОРМАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ В ПРОЦЕССАХ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОПРОЧНОЙ АРМАТУРЫ

Счастливец В.М.¹, Яковлева И.Л.¹, Копцева Н.В.², Ефимова Ю.Ю.², Никитенко О.А.²

¹ Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

² Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

Аннотация. Исследовано формирование структуры высокоуглеродистой стали эвтектоидного состава при термических и деформационных воздействиях на различных этапах производства высокопрочной арматуры из катанки большого диаметра. Рассмотрены особенности структуры горячекатаной стали, патентированной заготовки и механизмы пластической деформации при волочении стали со структурой тонкопластинчатого перлита.

Ключевые слова: эвтектоидная сталь, патентирование, волочение, перлитная колония, межпластинчатое расстояние.

Введение

В последнее время одним из наиболее востребованных видов метизной продукции в России и за рубежом является высокопрочная арматура, которая

широко используется для изготовления предварительно напряженных железобетонных конструкций разного назначения. При расширении сети железных дорог и строительства высокоскоростных и тяжело нагруженных магистралей в Российской Федерации

происходит переход на железобетонные шпалы нового поколения. В них будет использована стальная арматура повышенной прочности диаметром 9,6 мм взамен проволоки периодического профиля диаметром 3 мм, которая в основном применялась в качестве арматуры до настоящего момента [1-3]. Новая конструкция позволяет уменьшить количество армирующих стержней, значительно сократить металлоемкость конструкций, снизить трудоемкость и энергетические затраты при сохранении эксплуатационных свойств.

Арматура является основным несущим компонентом в конструкции шпалы, определяющим ее работоспособность и долговечность. Поэтому эффективное применение предварительно напряженных железобетонных шпал в существенной степени зависит от физико-механических свойств напрягаемой арматуры, в связи с чем появилась необходимость разработки новых технологий производства высокопрочной стержневой арматуры, позволяющих получать повышенный уровень ее механических свойств [4].

Наибольшее распространение на сегодняшний день получили технологии изготовления высокопрочной арматуры с использованием специализированных линий [1, 4]. При этом в качестве исходной заготовки широко используется катанка, подвергнутая ускоренному охлаждению в потоке проволочных прокатных станов [5], структура которой должна быть близка к структуре патентованной стали и в основном должна представлять собой тонкопластинчатую ферритно-карбидную смесь (ФКС), которую принято называть сорбитом патентирования [6-8]. В то же время опыт производства высокопрочной арматурной проволоки на новом оборудовании выявил специфику, обусловленную большим сечением исходной заготовки (15-16 мм в диаметре) [9]: в катанке больших диаметров получение качественных сорбитизированных структур в условиях прокатного передела затруднительно. Так, в исследованиях, выполненных в ФГБОУ ВПО «Магнитогорский технический университет им. Г.И. Носова», было показано [10], что в сталях, близких по составу к эвтектоидным, при реальных скоростях охлаждения катанки диаметром 10 мм с прокатного нагрева не удается предотвратить выделение избыточного феррита и сформировать псевдоэвтектоидную структуру типа сорбита. Это делает невозможным использование катанки большого диаметра для прямого волочения при изготовлении проволочной заготовки для производства высокопрочной арматуры и требует использования патентованной заготовки для достижения высокого уровня механических свойств готовой арматуры.

Патентирование заключается в нагреве металла до аустенитного состояния (до температур выше точки A_{C3}) с последующим охлаждением в специальных средах с температурами 450-550°C [11]. В результате такой обработки сталь приобретает высокодисперсную ферритно-цементитную структуру с очень малым межпластиночным расстоянием 0,1-0,2 мкм и толщиной цементитных пластинок 200-400 Å. Такая структура обладает сочетанием пластичности при одновременной высокой прочности, а также хорошей способностью к деформации с большими степенями обжа-

тия. В конечном итоге это обеспечивает после волочения высокие прочностные свойства стали с сохранением повышенной вязкости. Однако анализ режимов патентирования, используемых на большинстве метизных заводов России, показал, что достоверные и хорошо отработанные параметры процесса адаптированы, в основном, к заготовке диаметром до 8 мм.

Одной из важнейших операций технологии производства высокопрочной арматуры является волочение [3, 12]. Между тем опыт деформационной обработки заготовки диаметром более 10 мм в отечественной практике до последнего времени отсутствовал. В условиях ОАО «Магнитогорский метизно-металлургический завод «ММК-МЕТИЗ» высокопрочную арматуру для шпал нового поколения изготавливают из высокоуглеродистой стали с содержанием углерода, близким к эвтектоидному. Имеющиеся в литературе представления об изменении тонкой структуры и механизмах субструктурного упрочнения стали при деформации тонкопластинчатого перлита развиты для проволоки ограниченного сечения [13]. Вместе с тем известно, что при волочении заготовки большого диаметра отдельные слои металла в поперечном сечении прутка испытывают различную по величине и направлению деформацию [14]. Центральные слои, расположенные на оси волочильного канала, испытывают только деформацию растяжения, поскольку направления их главных осей деформации совпадают с направлением оси канала. Деформация же периферийных слоев, расположенных ближе к поверхности прутка, сопровождается дополнительными сдвиговыми составляющими. При этом с увеличением расстояния от оси проволоки увеличивается различие в схемах напряженного состояния и деформационное поведение локальных объемов материала. Такая неоднородность пластической деформации особенно явно проявляется в сталях с перлитной структурой, в которых даже небольшие обжатия сопровождаются интенсивной пластической деформацией локальных микрообъемов материала, эволюция структуры в которых имеет свою специфику [15].

Таким образом, для обеспечения загрузки новых линий при работе с катанкой большого диаметра необходимо рационализировать технологические параметры обработки и адаптировать их к условиям реального современного производства, что требует систематического изучения структуры эвтектоидной стали, подвергнутой термомеханическому воздействию в производственных условиях. Исходя из вышесказанного, целью данной работы является исследование структуры эвтектоидной стали, формирующейся при термическом и деформационном воздействии в технологических процессах изготовления высокопрочной арматуры из катанки большого диаметра.

Материал и методика исследования

Исследование было проведено на сталях промышленных плавок, которые по химическому составу были наиболее близки к стали 80 и содержали 0,79-0,87% C, ~ 0,2% Si и ~ 0,4% Mn.

Для металлографического анализа были отобраны образцы на различных технологических этапах метизного производства в условиях ОАО «Магнитогор-

ский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ».

Исходной заготовкой служил горячекатаный подкат диаметром 15,5 мм с пределом прочности от 1050 до 1105 МПа. После аустенитизации при температуре 970°C проводилось патентирование в свинцовой ванне при температуре 540-550°C. Временное сопротивление патентированной заготовки составило 1265 МПа. Проволочную заготовку получали волочением термообработанной катанки в многократном прямоточном волочильном стане RL 120/8 с диаметра 15,5 мм на диаметр 10 мм, в результате чего временная прочность достигала 1540 МПа.

Для микроанализа из образцов изготавливались шлифы с использованием запрессовки в смолу «Transoptic» на автоматическом прессе Simplimet 1000 на линии пробоподготовки фирмы Vuechler. Для выявления микроструктуры поверхность шлифов подвергалась травлению в 4%-ном растворе азотной кислоты в этиловом спирте методом погружения полированной поверхности в ванну с реактивом.

Структура массивных образцов была исследована на оптическом микроскопе Meiji Techno при увеличениях от 50 до 1000 крат с использованием системы компьютерного анализа изображений Thixomet PRO, а при увеличениях более 1000 крат – методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) во вторичных и упруго отраженных электронах на сканирующих электронных микроскопах JSM 6490 LV и «Quanta-200». Тонкие фольги вырезали из центральной части образцов и утоняли электролитически. Просвечивающий электронно-микроскопический (ПЭМ) анализ фольг проводили на микроскопе «JEM-200CX» с применением дифракционного и темнопольного методов. Исследования выполняли в Центрах коллективного пользования «Испытательный центр нанотехнологий и перспективных материалов» Института физики металлов УрО РАН и НИИ «Наностали» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Результаты и их обсуждение

В исходном горячекатаном состоянии структура стали 80 представляет собой преимущественно ферритно-карбидную смесь (ФКС) – перлит, колонии которого имеют правильное, регулярное строение с параллельным расположением пластин цементита и размером в поперечнике 6-12 мкм (рис. 1, а). При этом в структуре присутствует небольшое количество структурно-свободного феррита (темные участ-

ки на рис. 1, а). Межпластиночное расстояние составляет в большинстве колоний около 0,2 мкм (рис. 1, б). Это позволяет считать, что температура образования перлита находилась в интервале 700-630°C [16].

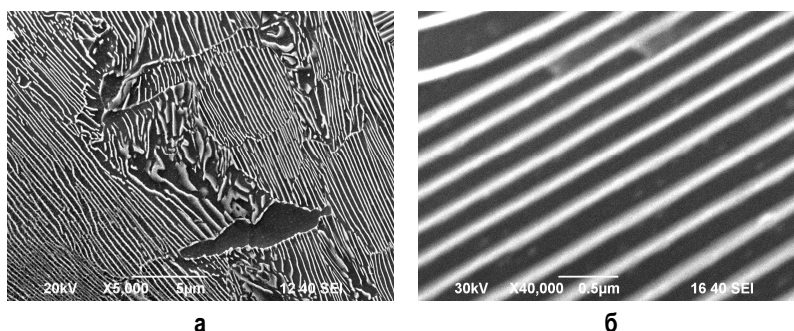


Рис. 1. Структура эвтектоидной стали после горячей прокатки, РЭМ

Особенности горячекатаного состояния аустенита наиболее наглядно проявляются в тонкой структуре ферритной составляющей перлита (рис. 2). Внутри перлитной колонии присутствует одна преимущественная ориентировка α -фазы, что видно на темнопольных изображениях структуры, полученных в ферритных рефлексах (рис. 2, б). Разориентировка отдельных областей ферритной матрицы оценивалась по наклону фольги в колонне электронного микроскопа и составляла примерно 1-1,5 град. В ферритной составляющей наблюдаются единичные дислокации, соединяющие соседние цементитные пластины.

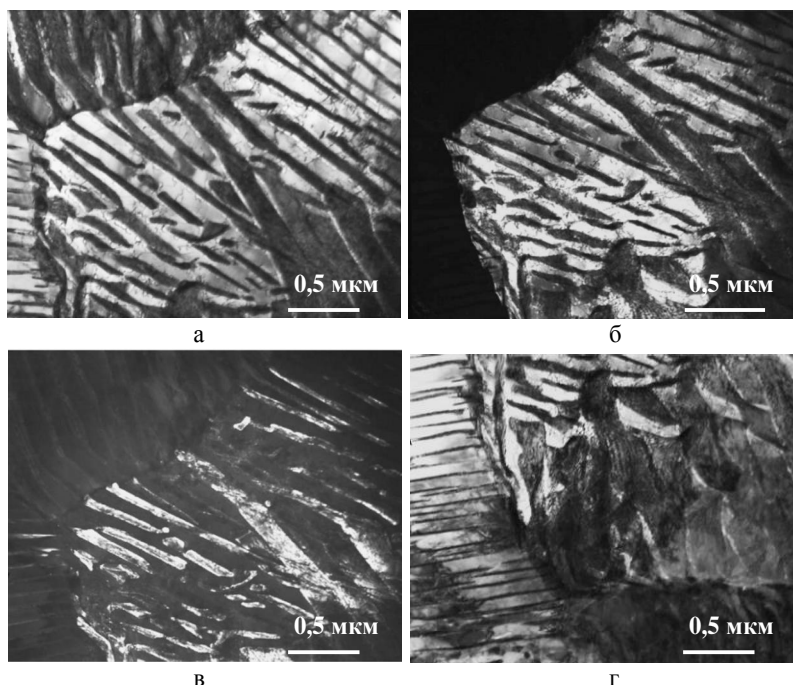


Рис. 2. Перлитные колонии в горячекатаной стали: а, г – светлопольное изображение; б – темнопольное изображение в рефлексе феррита типа (110); г – темнопольное изображение в рефлексе цементита типа (103)

Тонкая структура цементитных пластин достаточно неоднородна. В пластинах, ориентированных нормально к плоскости фольги, области однородного контраста, свободные от дефектов, простираются на расстояние 1 мкм и более, но имеются участки с развитой внутренней субструктурой (рис. 2, в). Феррит и цементит в перлитной колонии связаны ориентационными соотношениями Петча. Такая картина характерна для большей части перлитных колоний.

В структуре горячекатаной стали в незначительном количестве сформировались участки вырожденного перлита и бейнитоподобные области (рис. 2, г), появление которых может быть связано с локальными неоднородностями химического состава.

В структуре патентированной стали основной объем занимает пластинчатая ФКС (рис. 3, а), для которой характерно классическое строение перлитных колоний с протяженными, преимущественно параллельными пластинами цементита (рис. 4, а). Однако основное отличие патентированного состояния исследуемой стали от горячекатаного заключается в измельчении структуры. Переохлаждение аустенита до 540-550°C приводит к тому, что после патентирования размер перлитных колоний уменьшается в 3-4 раза по сравнению с горячекатаным состоянием до 2-6 мкм, а межпластиночное расстояние внутри перлитной колонии уменьшается и составляет 0,15-0,17 мкм (рис. 3, б).

Внутреннее строение пластин цементита достаточно совершенное, на темнопольном изображении в рефлексе цементита видно, что пластины имеют однородный контраст по всей длине пластины и свободны от дефектов, (рис. 4, в, г).

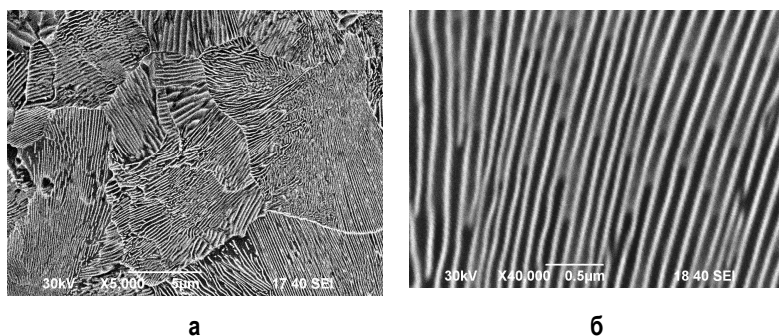


Рис. 3. Структура эвтектоидной стали после патентирования при 540°C, РЭМ

Ферритная составляющая сохраняет единую для колонии ориентировку, плотность дислокаций в ферритных ламелях чрезвычайно низкая. Для ферритной составляющей характерен сильный дифракционный

контраст (см. рис. 4, в), что свидетельствует о повышенном уровне внутренних напряжений в α -фазе и пересыщении ее углеродом. Межфазные границы цементит-феррит в перлите остаются плоскими и параллельными, на них отсутствуют ступени скопления дислокаций (см. рис. 4, в).

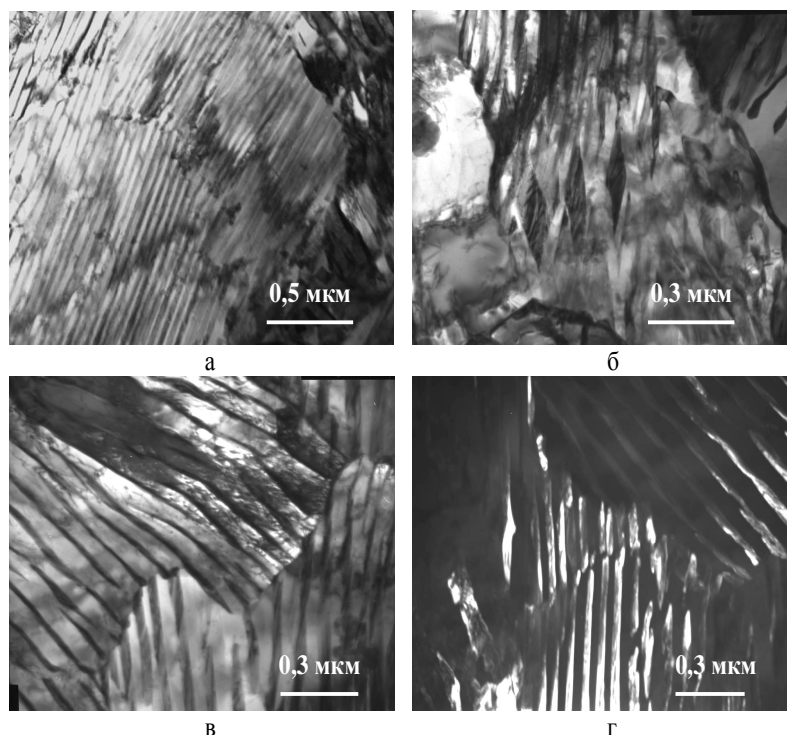


Рис. 4. Особенности строения ФКС в структуре патентированной стали: а, б – светлопольные изображения; в – темнопольное изображение в рефлексе цементита типа (101)

Помимо ФКС в структуре патентированной стали имеются участки с бейнитной структурой (рис. 4, б), объемная доля которых, однако, невелика и не превышает 5%.

Типичную структуру эвтектоидной стали, подвергнутой волочению с диаметра 15,5 мм на диаметр 10 мм (истинная деформация $\epsilon = 0,88$), иллюстрирует рис. 5, а. Размер перлитных колоний несколько уменьшился, межпластиночное расстояние сократилось примерно до 0,06 мкм, в том числе за счет толщины цементитных пластин. Этот факт указывает на способность патентированной эвтектоидной стали к эстафетной передаче пластической деформации по механизму скольжения.

В отличие от патентированного состояния, структура после волочения крайне неоднородна. В перлитных колониях, ориентированных вдоль оси волочения, сохраняется строение колонии и пластинчатая форма цементита, типичные для патентированного состояния (рис. 5, б), однако цементитные пластины частич-

но разбились на фрагменты (рис. 5, г). Благоприятное расположение цементитных колоний относительно направления волочения позволяет в локальных объемах реализовать большие степени деформации.

Ферритная составляющая перлита отличается крайне высокой плотностью дислокаций. У фрагментов цементитных пластин в ферритной составляющей образуются дислокационные клубки, преобразующиеся в вытянутые стенки ячеек (рис. 5, в).

Из литературных источников известно, что пластическая деформация перлитных колоний эвтектоидной стали, ориентированных вдоль оси волочения, осуществляется по механизму трансляционного скольжения и сопровождается уменьшением межпластинчатого расстояния за счет пропорционального изменения толщины цементитной пластины и ферритного промежутка [17]. Средняя величина межпластинчатого расстояния в колониях в данном случае сокращается с 0,1-0,15 мкм после патентирования до 0,06 мкм после волочения.

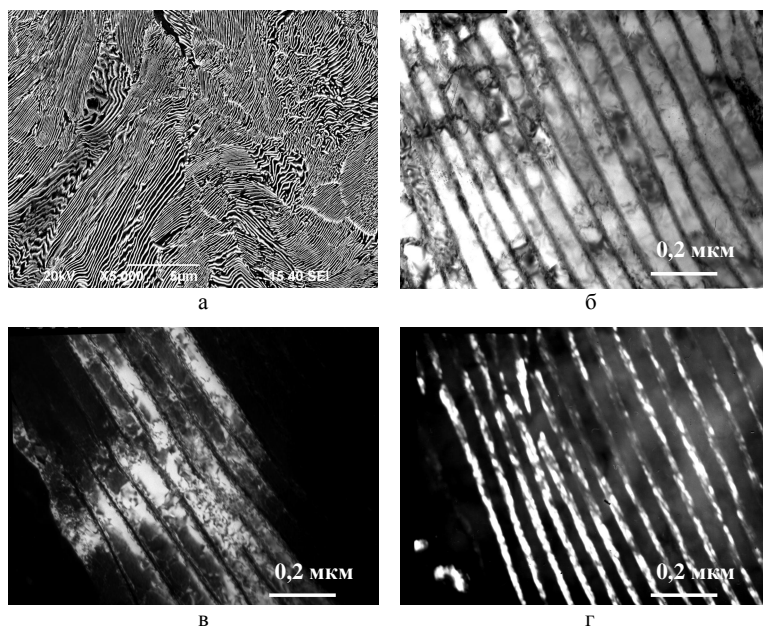


Рис. 5. Особенности структуры стали после волочения: а – РЭМ; б – светлопольное (ПЭМ); в, г – темнопольные изображения (ФЭМ) в рефлексе феррита (в) и цементита (г)

В перлитных колониях, ориентированных под большим углом к оси волочения (о чем может свидетельствовать очень большое межпластинчатое расстояние в косом сечении перлитной колонии), происходит переориентация под воздействием деформирующей нагрузки. Наклонная ориентация перлитных колоний относительно действующей нагрузки способствует проявлению ротационной моды пластической деформации. За счет сдвига локальных микрообъемов в перлитной колонии образуются полосы локализованной пластической деформации, на цементитной пластине возникают ступени, и пластинчатая форма карбидной фазы поэтапно трансформируется в волнообразную. В результате морфология цементитной фазы изменяется: пластины изгибаются и разрушаются, разделяясь на фрагменты (рис. 6, а).

При дроблении возникающие напряжения могут релаксировать за счет пластической деформации в локальных объемах, о чем свидетельствует смещение частей раздробившегося цементита. Вместе с тем на границах субколоний, ограничивающих пластическую деформацию скольжением, большие локальные пиковые напряжения могут релаксировать за счет разрыва цементитных пластин с образованием микротрещин (рис. 6, б). Пластины цементита, ориентированные почти перпендикулярно оси волочения, в наибольшей степени подвержены разрушению.

Следует отметить, что, несмотря на малое количество бейнитной составляющей в микроструктуре патентированной стали, при холодной деформации они могут в сильной степени способствовать зарождению трещин размером больше критического в этих участках.

Заключение

Анализ полученных результатов исследования изменений микроструктуры стали эвтектоидного состава при термическом и деформационном воздействии в процессах производства высокопрочной арматуры позволили выявить два основных механизма пластической деформации стали при волочении. Перлитные колонии, ориентированные вдоль оси волочения, деформируются преимущественно за счет трансляционного скольжения, что сопровождается уменьшением межпластинчатого расстояния при сохранении морфологического подобия с патентированным состоянием. В колониях, расположенных под большим углом относительно оси волочения, развивается ротационная мода пластической деформации, которая сопровождается разрушением цементитных пластин, их дроблением на фрагменты и может привести к образованию трещин критического размера.

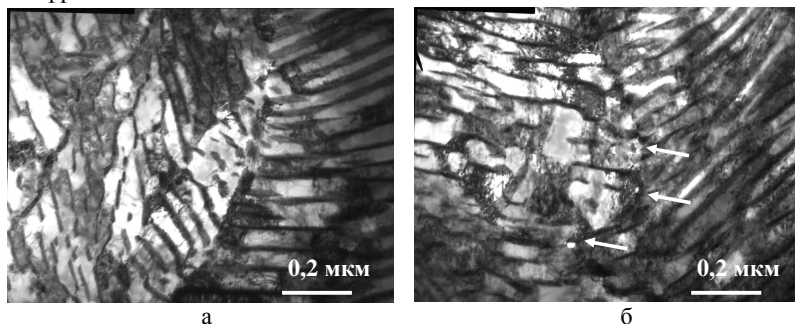


Рис. 6. Особенность строения цементита в структуре после волочения патентированной стали (степень деформации 55,5%)

Список литературы

1. Лебедев В.Н. Опыт освоения производства высокопрочной стабилизированной арматуры для железобетонных шпал нового поколения // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. №2. С. 74-76.
2. Лебедев В.Н., Корчунов А.Г., Чукин М.В. Производство высокопрочной стабилизированной арматуры для железобетонных шпал нового поколения // Металлург. 2011. №1. С. 75-78.
3. Голубчик Э.М., Корчунов А.Г., Коломиец Б.А. Освоение технологии производства высокопрочной арматуры для железобетонных шпал нового поколения // Известия Юго-Западного государственного университета. 2011. №5-1 (38).
4. Исследование вариантов технологических процессов производства высокопрочной стержневой арматуры для железобетонных шпал / Носов А.Д., Носков Е.П., Вершигора С.М., Рудаков В.П., Корчунов А.Г., Чукин В.В., Челищев В.Н. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2005. №3(11). С. 80-83.
5. Юхвец И.А. Производство высокопрочной арматуры. М.: Металлургия, 1973. 264 с.
6. Высокопрочные арматурные стали / Гуляев А.П., Астафьев А.С., Волкова М.А. и др. М.: Металлургия, 1966. 140 с.
7. Влияние регулируемого охлаждения на свойства катанки / Бекенгоф Г., Швир Ф., Рокфор Г. и др. // Черные металлы. 1967. №6. С. 11-29.
8. Структура и свойства канатной катанки и проволоки после регулируемого охлаждения / Узлов И.Г., Бабич В.К., Парусов В.В. и др. // Сталь. 1983. №11. С. 77-79.
9. Мезин И.Ю., Чукин В.В. Анализ вариантов формирования свойств исходной заготовки при производстве высокопрочной стальной арматуры для железобетонных шпал // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. №4. С. 30-34.
10. Чукин Д.М., Ишимов А.С., Жеребцов М.С. Использование комплекса Gleeble 3500 для анализа фазовых превращений в стали эвтектоидного состава, микролегированной бором // Обработка сплошных и слоистых материалов: межвуз. сб. науч. тр. / под ред. М.В. Чукина. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. Вып. 38. С. 53-57.
11. Особенности структурообразования высокоуглеродистых сталей при патентировании / Копцева Н.В., Чукин М.В., Ефимова Ю.Ю., Трубицын Г.В., Литвинова Н.В. // Сталь. 2013. №2. С. 42-45.
12. Особенности деформационной обработки высокопрочной арматуры для железобетонных шпал нового поколения / Корчунов А.Г., Чукин М.В., Гун Г.С., Рубин Г.Ш., Полякова М.А., Долгий Д.К. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Металлургия. 2011. №36 (253). С. 76-80.
13. Грднев В.Н., Гаврилюк В.Г., Мешков Ю.Я. Прочность и пластичность холоднодеформированной стали. Киев: Наук. думка, 1974. 230 с.
14. Обработка металлов давлением / Шевакин Ю.Ф., Чернышев В.Н., Шаталов Н.А., Мочалов Н.А. М.: Интермет Инжиниринг, 2005. 496 с.
15. Глезер А.М. Принципы создания многофункциональных конструкционных материалов нового поколения // Успехи физических наук. 2012. Т. 182. №5. С. 559-566.
16. Перлит в углеродистой стали / Счастливец В.М., Мирзаев Д.А., Яковлева И.Л. и др. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 310 с.
17. Штремель М.А. Прочность сплавов. Ч. 2. М.: МИСиС, 1997. 527 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE STRUCTURE FORMATION REGULARITIES IN THERMAL-DEFORMATIONAL AFFECTING IN THE HIGH-STRENGTH REINFORCEMENT PRODUCTION

Schastlvtsev Vadim Mikhailovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Chief of laboratory in Russian Academy of Science, Academician of Russian Academy of Sciences, scientific supervisor of the department of Materials Science, Institute of Metal Physics, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia. E-mail: labmet@imp.uran.ru.

Yakovleva Irina Leonidovna – D.Sc. (Eng.), Professor, Chief Research Scientist, laboratory of physical metallurgy, Institute of Metal Physics, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia. E-mail: labmet@imp.uran.ru.

Koptseva Natalya Vasilyevna – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: kopceva1948@mail.ru.

Efimova Yuliya Yuryevna – Ph.D. (Eng), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: jefimova78@mail.ru.

Nikitenko Olga Aleksandrovna – Ph.D. (Eng), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia.

Abstract. The structure formation of the high-carbon eutectoid steel in thermal and deformation affecting at various stages of high-strength reinforcement production from large-diameter rod has been investigated. The peculiarities of the structure of hot-rolled steel, patented bar and plastic deformation mechanisms in drawing steel with the fine-lamellar pearlite structure are considered.

Keywords: eutectoid steel, patenting, drawing, pearlite colony, interlamellar spacing.

References

1. Lebedev V.N. Experience in developing production of high-strength stabilized reinforcement for concrete sleepers of new generation. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2010, no. 2, pp. 74-76.
2. Lebedev V.N., Korchnunov A.G., Chukin M.V. Production of high-strength stabilized reinforcing steel for concrete sleepers of new generation. *Metalurg* [Metallurg]. 2011, no. 1, pp. 75-78.
3. Golubchik E.M., Korchnunov A.G., Kolomiets B.A. Development of manufacturing practice of high-strength reinforcement for concrete sleepers of new generation. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. [Proceedings of the South-Western State University]. 2011. № 5-1 (38). pp. 127-133.
4. Nosov A.D., Noskov E.P., Vershigora S.M., Rudakov V.P., Korchnunov A.G., Chukin V.V., Chelischev V.N. Study of variants of manufacturing processes of high-strength stabilized reinforcement for new generation concrete sleepers. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2005, no. 3 (11), pp. 80-83.
5. Yukhvets I.A. *Proizvodstvo vyisokoprochnoy armatury* [Production of high-strength reinforcement]. Moscow: Metallurgy, 1973. 264 p.
6. Gulyaev A.P., Astafiev A.S., Volkova M.A., etc. *Vyisokoprochnyye armaturnyye stali* [High-strength reinforcing steels]. Moscow: Metallurgy, 1966. 140 p.
7. Bekengof G., Shvir F., Rokror G., etc. The influence of controlled cooling on the properties of wire rod. *Chemye metallu* [Ferrous metals]. 1967, no. 6, pp. 11-29.
8. Uzlov I.G., Babich V.K., Parusov V.V., etc. Structure and properties of the rope rod and wire after the controlled cooling. *Stal* [Steel]. 1983, no. 11, pp. 77-79.
9. Mezin I.Y., Chukin V.V. The analysis of the variants of shaping qualities of starting stock material during manufacture high-strength steel reinforcement for reinforced-concrete ties. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2011, no. 4, pp. 30-34.
10. Chukin D.M., Ishimov S.A., Zherebtsov M.S. The use of complex Gleeble 3500 for the analysis of phase transformations in eutectoid composition steel microalloyed with boron. *Obrabotka sploshnykh i sloistykh materialov: mezvuz. sb. nauch. tr. / pod red. M.V. Chukina* [Treatment of solid and laminated materials: interacademic collection of research papers]. Ed. M.V. Chukin. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University publ. 2012, vol. 38, pp. 53-57.
11. Koptseva N.V., Chukin M.V., Efimova Y.Y., Trubitsyn G.V., Litvinova N.V. Peculiarities of structure formation in high-carbon steels patenting. *Stal* [Steel]. 2013, no. 2, pp. 42-45.
12. Korchnunov A.G., Chukin M.V., Gun G.S., Rubin G.Sh., Polyakova M.A., Dolgiy D.K. Characteristics of deformation processing of high-strength reinforcement for the new generation reinforced concrete ties. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Metallurgiya* [Vestnik of South Ural State University. Series: Metallurgy]. 2011, no. 36(253), pp. 76-80.
13. Gridnev V.N., Gavrilyuk V.G., Meshkov Yu.Ya. *Prochnost i plastichnost holodnodeformirovannoy stali* [Strength and ductility of cold-deformed steel]. Kiev: Naukova Dumka publ. 1974. 230 p.
14. Shevakin Y.F., Chemyshev V.N., Shatalov N.A., Mochalov N.A. *Obrabotka metallov daveniem* [Metal Forming]. Moscow: Intermet Engineering, 2005. 496 p.
15. Glezer A.M. Principles of creating multifunctional constructional materials of new generation. *Physic Uspekhi*. 2012, vol. 182, no. 5, pp. 559-566.
16. Schastlvtsev V.M., Mirzaev D.A., Yakovleva I.L., etc. *Perlit v uglerodistoy stali* [Perlite in carbon steel]. Ekaterinburg: UR RAS, 2006. 310 p.
17. Shtremel M.A. *Prochnost' splavov* [Alloys Strength]. Part 2. Moscow: MISIS, 1997. 527 p.

От редакции

Под руководством профессоров Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова В.А. Бигеева и А.Б. Сычкова совместно с Институтом черной металлургии им. З.И. Некрасова Национальной Академии наук Украины (г. Днепропетровск) проводятся исследовательско-внедренческие работы по эффективным технологиям выплавки электропечной стали, ее внепечной обработки и непрерывной разливки, а также прокатки и термической обработке в потоке производства арматурного, фасонного проката, катанки и бунтового проката. При этом применяются процессы модифицирования, микролегирования стали кальцием, бором, ванадием, никелем, молибденом и другими химическими элементами. Получены новые технологии производства эффективных видов металлопродукции, в ряде случаев с уникальным комплексом структуры и свойств: арматурного проката в прутках и бунтах разных классов прочности с дополнительным уровнем свойств, катанки и бунтового проката для изготовления из высокоуглеродистой стали канатной, пружинной проволоки, высокопрочных стабилизированных арматурных канатов и проволоки для армирования железнодорожных шпал нового поколения для высокоскоростных и тяжело нагруженных путей сообщения, металлокорда, бортовой проволоки, резинотехнической проволоки; из низкоуглеродистой легированной стали – для производства омедненной проволоки для полу- и автоматической сварки.

Совместно с НПП «АТТА» (г. Екатеринбург) разработаны принципы модернизации линий двустадийного охлаждения бунтового проката типа Стелмор для осуществления в потоке производства изотермических видов термической обработки, таких как рекристаллизационный отжиг и патентирование.

Результаты исследований внедрены в условиях ОАО «Молдавский металлургический завод», ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», планируется освоение на ряде металлургических заводов РФ, ближнего и дальнего зарубежья (ОАО «Северсталь», Украины, Израиля и др.).

УДК 621.771.25:669.017:669.15

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ КАТАНКИ*

Сычков А.Б.¹, Парусов В.В.², Ивин Ю.А.³, Дзюба А.Ю.³, Зайцев Г.С.¹

¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

² Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова Национальной Академии наук Украины

³ Магнитогорский металлургический комбинат, Россия

Аннотация. В статье приводятся краткие результаты исследований, проведенных в условиях ОАО «Молдавский металлургический завод» за последние 25 лет и позволивших разработать научно-обоснованные технологические решения по повышению качественных характеристик высокоуглеродистой катанки, которая обладает высокой технологичностью при переработке на метизном переделе. В работе принимали активное участие сотрудники Института Черной Металлургии им. З.И. Некрасова Национальной Академии наук Украины. Результаты этих исследований успешно внедряются на родственных металлургических предприятиях, в том числе и в ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», в частности технология производства высокоуглеродистой катанки – бунтового проката большого диаметра 15,5-16,0 мм из стали 80P для изготовления железнодорожных шпал нового поколения для тяжело нагруженных и скоростных путей.

Ключевые слова: сталь, модифицирование, микролегирование, катанка, проволока, структура, свойства.

Введение

В настоящее время на мировом рынке востребована катанка из высокоуглеродистых сталей для производства проволоки под пружины, канаты, металлокорд, для железобетонных шпал нового поколения, для изготовления которых не требуется проведение патентирования перед волочением катанки или на промежуточном размере проволоки.

Ниже приводятся краткие результаты исследований, позволившие разработать научно обоснованные технологические решения по повышению качественных характеристик катанки для эффективной переработки на метизном переделе.

Технологические разработки. Результаты исследований и обсуждение

Катанка для металлокорда

Основные требования к качественным показателям стали, НЛЗ и катанки для изготовления металлокорда следующие: обеспечение заданных пределов по содержанию основных химических элементов; снижение содержания вредных примесей; повышение чистоты стали по НВ, особенно недеформируемым; получение НЛЗ с бездефектной поверхностью, минимальной ликвацией, пористостью; обеспечение однородности структуры и механических свойств катанки по длине бунта; получение в структуре сорбитообразного перлита в количестве >50% при минимальном количестве структурно-свободного феррита или цементита; исключение закалочных структур.

Ниже рассмотрено обеспечение этих требований.

* В работе принимали участие А.Н. Савьюк, И.В. Деревянченко, М.А. Жигарев, С.Ю. Жукова, А.В. Перчаткин.

Химический состав стали

Технология выплавки и внепечной обработки стали гарантирует точное попадание в заданный химический состав кордовой стали марок 70КРД, 80КРД, 85КРД с незначительным внутривсплавочным размахом вариации (разбегом) массовых долей элементов: $\Delta C = 0-0,01\%$; $\Delta Mn = 0-0,03\%$; $\Delta Si = 0-0,03\%$; межвсплавочный разброс значений соответственно составляет: $\Delta C = 0-0,04\%$; $\Delta Mn = 0-0,05\%$; $\Delta Si = 0-0,05\%$. Содержание фосфора и серы обеспечивается на уровне соответственно не более 0,015 и 0,006%, что является весьма хорошим показателем; $Cr \leq 0,15\%$; $Ni \leq 0,15\%$; $Cu \leq 0,25\%$ не оказывает негативного воздействия на свойства катанки и проволоки для металлокорда [1, 2].

Микродобавка бора, связывая азот в его нитрид, уменьшает степень развития процессов деформационного старения при волочении. При соотношении $B/N=0,20-0,25$ в кордовой стали в наибольшей мере проявляется пластифицирующее действие бора. Вакуумирование стали, обеспечивая ее глубокую дегазацию по водороду (до вакуумирования содержание водорода – 2-6, после вакуумирования – 0,3-1,5 ppm) и в меньшей степени по азоту (соответственно 0,010-0,012 и 0,005-0,007%), обуславливает дополнительное повышение пластичности катанки. Так, если при первичных испытаниях катанка из невакуумированной стали марки 70КРД имеет уровень относительного сужения $\psi = 30-35\%$, то из вакуумированной стали – 38-45%.

Количество вредных примесей в стали обеспечивается, в основном, на низком уровне: $P \leq 0,010$; $S \leq 0,005$; $As \leq 0,01$; $Zn \leq 0,001$; $Pb \leq 0,01$; $Sn \leq 0,01\%$. Это дополнительно повышает пластические характеристики катанки и ее деформируемость в холодном состоянии.

Неметаллические включения (НВ)

НВ, находящиеся в металлической матрице, имеют, как правило, различную деформируемость. Вследствие этого на границе недеформирующихся НВ формируются микрополости – нарушения сплошности металла, по которым в дальнейшем может происходить разрушение катанки и проволоки [3].

Установлен комплекс технологических мероприятий, позволяющих снизить загрязненность металла НВ: применение ограниченного количества кальцийсодержащей порошковой проволоки для модифицирования НВ; использование основных футеровок СК и промежуточного ковша (ПК); выбор оптимального состава теплоизолирующих и рафинирующих засыпок в УКП, не содержащих оксидов железа и марганца; продувка стали в УКП аргоном через специальные продувочные блоки; защита от вторичного окисления струи стали, истекающей из СК в ПК и из ПК в кристаллизатор.

Уменьшение в условиях ММЗ загрязненности НВ катанки из высокоуглеродистой стали для металлокорда (совместно с другими показателями качества) обеспечило высокую технологичность ее переработки на метизном переделе (обрывность при микроволочении – не более $1,5-2,0 \text{ т}^{-1}$, при свивке прядей и кордовых конструкций – не более $2,0-2,5 \text{ т}^{-1}$).

Макро- и микроструктура катанки

Результаты исследований показывают следующее:

– из-за дендритной ликвации в НЛЗ образуются ликвационные полоски, «шнуры», структурная полочность, остатки которых выявляются и в катанке, и в проволоке; ЭМП увеличивает количество центров кристаллизации и способствует увеличению скорости кристаллизации; зона равноосных кристаллов в результате действия ЭМП заметно увеличивается – в среднем в 1,7 раза, при этом центральная ликвация и пористость рассредотачиваются;

– ликвация на макро- и микроуровне обуславливает также и формирование в центральных частях высокоуглеродистой катанки мартенситных участков, протяженность которых составляет от 5 до 200 мкм. Оптимизация процесса кристаллизации слитка, режимов ЭМП, степени перегрева над температурой ликвидус позволяет практически исключить появление закалочных структур.

Установлено, что имеются два интервала температур раскладки катанки на витки ($t_{в/у}$), где межпластинчатое расстояние в перлите минимально: первый интервал – 950-1000°C, второй – менее 700°C. В этих случаях образуется практически 100% мелкодисперсного перлита 1 балла (межпластинчатое расстояние < 0,2 мкм). При $t_{в/у}$ ниже 700°C в поверхностных слоях катанки формируется сорбит отпуска, ухудшающий технологичность переработки такой катанки в проволоку. При высоких $t_{в/у}$ (950-1000°C) увеличивается среднее количество вторичной окалины до 6-8 кг/т против 2-4 кг/т при $t_{в/у}$ 800-850°C, однако в последнем случае количество мелкодисперсного перлита уменьшается на 30-40%. В связи с тем, что формируемая при температурах 950-1000°C окалина состоит, в основном, из вюстита и затем она вместе с витками катанки подвергается быстрому охлаждению вентиляторным воздухом, превращение вюстита в магнетит не происходит, вследствие чего обеспечивается легкое удаление такой окалины перед волочением как химическим, так и механическим способами. Увеличением же расхода металла в окалину при этом можно пренебречь, так как повышение дисперсности перлита при одновременном снижении глубины обезуглероживания улучшает деформируемость металла при волочении и свивке металлокорда.

Наряду с дисперсностью перлита на деформируемость катанки и проволоки оказывает влияние и размер действительного зерна. Для высокоуглеродистой катанки этот размер оптимален в диапазоне №7-11.

Обезуглероживание и качество поверхности катанки

Мягкая обезуглероженная поверхность [4-6] обеспечивает повышенную пластичность металла при перегибах и скручиваниях из-за малой чувствительности к концентраторам напряжений и, следовательно, высокой сопротивляемости к зарождению трещин. Формирование в обезуглероженном слое остаточных сжимающих напряжений приводит к повышению усталостной прочности при работе в канатах, коррозионной стойкости и улучшению оцинкования прово-

локи. В обезуглероженном слое не образуются мартенсит истирания и вызываемые им поверхностные трещины и надрывы. С учетом изложенного необходимо обеспечивать равномерную глубину обезуглероживания катанки по её периметру. Однако обезуглероженный ферритный слой ухудшает адгезию латуни к поверхности бортовой и кордовой проволоки. Сквозной технологией производства высокоуглеродистой катанки обеспечивается низкая дефектность её поверхности: глубина дефектов не превышает 0,15 мм (в 95% случаев не более 0,10 мм).

Высокоуглеродистая катанка для производства высокопрочных натяжных проволок и арматурных канатов

Основной сложностью в производстве данного вида продукции является обеспечение заданной высокой прочности исходной катанки – не менее 1150, 1200 и 1250 Н/мм², что обусловлено высокой прочностью арматурных канатов – не менее 1770, 1860, 2000 Н/мм². Так как для производства данной продукции используется катанка крупных диаметров – 8,0-16,0 мм, то проблема обеспечения заданного структурного состояния и предела прочности в исходной катанке достигается легированием стали и интенсивным охлаждением на линии Stelmor.

Максимальная скорость воздушного охлаждения на линии Stelmor составляет не более 10-12°С/с вместо необходимых 20-25°С/с. Вследствие этого достижение требуемой структуры и, соответственно, уровня прочности катанки может быть получено только при дополнительном легировании стали ванадием и/или хромом.

Структурная неоднородность стали приводит к появлению микронапряжений, в результате чего при проведении механических испытаний непосредственно после про-катки наблюдается преждевременный разрыв образцов катанки, вследствие чего не достигается номинальное значение предела прочности. Как показали исследования, разрушение происходит именно в местах химической и структурной неоднородности стали. Поэтому номинальный предел прочности катанки достигается только после ее вылеживания в течение нескольких дней, в процессе которого существенно снижается содержание водорода в стали и уровень микронапряжений. Очевидно, что химическая и структурная неоднородность стали оказывает негативное влияние и на технологичность переработки катанки-проволоки на метизном переделе.

Другим проявлением ликвационных процессов в высокоуглеродистой катанке является образование цементитной сетки, степень развития которой повышается с увеличением содержания углерода в стали. Подавить выделение цементитной сетки возможно либо интенсивным воздушным охлаждением катанки, либо снижением содержания углерода в стали за счет дополнительного легирования такими элементами, как Mn, V и Cr.

Для устранения негативного влияния структурной неоднородности стали, в том числе мартенситных участков, необходима установка более эффективной системы ЭМП, увеличение поперечного сечения НЛЗ,

интенсификация воздушного охлаждения катанки на линии Stelmor, микролегирование стали бором.

Как показали опытно-промышленные эксперименты, технологичность переработки высокоуглеродистой катанки в натяжную проволоку и натяжные пряди удовлетворительная.

Катанка из стали 80P для производства железнодорожных шпал нового поколения в условиях ОАО «ММК»

Базовая технология производства стали 80P в ОАО «ММК» изложена в работах [7-9].

Недостатки такой технологии производства высокоуглеродистой марки 80P, оказывающие влияние на качество стальной заготовки, следующие:

1. На АПК не проводится модифицирование НВ, что обуславливает наличие в стали крупных недеформирующихся НВ.

2. Массовая доля алюминия в стали составляет 0,01-0,03% для раскисления стали. Это неэффективно, так как сталь значительно загрязняется недеформирующимися окислами алюминия, приводящими к затягиванию разливочных отверстий и обрывности проволоки при ее волочении.

3. Повышенное содержание в стали кремния и низкое отношение марганца к кремнию. Высокое содержание в стали кремния и алюминия приводит к формированию в стали НВ алюмосиликатного типа и снижает технологическую деформируемость про-ката на метизном переделе.

4. В стали после АПК наблюдается высокое содержание водорода – до 5 ppm, что обуславливает повышенную дефектность НЛЗ по НВ и явление водородного охрупчивания стали.

5. Относительно высокое содержание FeO (1,3-1,8%) в белых шлаках АКП, что подтверждает вероятность образования в стали оксидных НВ.

Переработка опытных плавков показывает, что исключение обработки стали алюминием (0,002 вместо 0,010%) с одновременным повышением отношения марганца к кремнию (2,5-2,9 вместо не более 2,4), модифицирование кальцием при одном и том технологическом режиме прокатки, термообработки на линии Стелмор и последующем переделе (метизном и на ЗЖБШ) обусловило снижение обрывности при волочении проволоки с 0,34 до 0,12-0,02 т⁻¹, то есть в 2,8-17 раз. Эти результаты подтверждают высокую эффективность предложенной технологии.

В конкретных производственных условиях предложено увеличить $t_{в/у}$ до 920-930°С вместо 840-880°С (по ТИ и рекомендациям фирмы Даниели) для максимальной сорбитизации перлитной структуры; скорость роликового транспортера витков – 0,5-0,8 м/с для получения однородности структуры и свойств витков проката за счет равномерного обдува металла вентиляторным воздухом: в работе все 14 вентиляторов на максимальной мощности. Для исключения на метизном переделе операции патентирования рекомендуется модернизация линии Стелмор стана 170 ОАО «ММК».

Были опробованы предложенные режимы. Металлографический анализ показал, что по сравнению с

резко неоднородной структурой проката диаметром 15,5-16,0 мм, произведенной по схеме 1 обработки на линии Стелмор ММК ($t_{b/y} = 840-880^\circ\text{C}$, $V_{тр} = 0,15$ м/с, в работе 14 вентиляторов) и улучшенной технологической схемой 2 ММК ($t_{b/y} = 840-880^\circ\text{C}$, $V_{тр} = 0,15$ м/с, все вентиляторы отключены – фактически это режим прокатной нормализации), опытный режим ($t_{b/y} = 900-940^\circ\text{C}$, $V_{тр} = 0,5-0,8$ м/с, в работе 14 вентиляторов с максимальной нагрузкой) характеризуется высокой однородностью структуры и дисперсностью перлита: межпластинчатое расстояние в перлите по режимам соответственно составило 0,28 мкм при прокатной нормализации, 0,23 мкм при скорости транспортера 0,5 м/с и повышенной температурой виткообразования и охлаждении вентиляторами, 0,15 мкм при скорости транспортера 0,8 м/с и повышенной температурой виткообразования и охлаждении вентиляторами. Наблюдается различие в дисперсности перлита – количестве перлита 1 и 2 баллов по ГОСТ 8233-56 на поверхности и сердцевине поперечного сечения проката. Эта разница составляет на опытном металле для температуры виткообразования до 10%, для контрольных партий – до 40%.

Высокую эффективность опытных режимов доказывает снижение обрывности на метизном переделе и на ЗЖБШ. Долевое влияние на обрывность при волочении составило примерно 50%: обрывность опытных партий проката – $0,01 \text{ г}^{-1}$ по сравнению с $0,04 \text{ г}^{-1}$ на контрольных партиях.

Заключение

В условиях ММЗ разработаны и внедрены научно обоснованные технические решения по производству высокоуглеродистой катанки. Сочетание модифицирования стали кальцием и микролегирования бором, защиты металла от вторичного окисления, вакуумирова-

ния и ТМО позволило осуществить безобрывное волочение катанки и проволоки. В условиях ОАО «ММК» внедрены научно обоснованные технологические решения по производству высокоуглеродистой катанки под железнодорожные шпалы нового поколения.

Список литературы

1. Парусов В.В., Сычков А.Б., Парусов Э.В. Теоретические и технологические основы производства высокоэффективных видов катанки. Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2012. 376 с.
2. Сычков А.Б. Разработка сквозной технологии производства эффективных видов катанки из непрерывно-литой заготовки с повышенным содержанием примесей цветных металлов и азота: дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.01, 05.16.02. Минск, 2005. 380 с.
3. Губенко С.И. Трансформация неметаллических включений в стали. М.: Металлургия, 1991. 224 с.
4. Белалов Х.Н. Формирование свойств канатной проволоки // Стальные канаты: науч. тр. Одесса: Астропринт, 2001. С. 105-116.
5. Высокоуглеродистая катанка для изготовления высокопрочных арматурных канатов / А.Б. Сычков, М.А. Жигарев, А.М. Нестеренко, С.Ю. Жукова, А.В. Перегудов. Бендеры: Полиграфист, 2010. 280 с.
6. Катанка Молдавского металлургического завода для производства металлокорда / В.В. Парусов, А.М. Нестеренко, А.Б. Сычков и др. // Стальные канаты: науч. тр. Одесса: Астропринт, 2001. С. 99-105.
7. Бигеев В.А., Сычков А.Б., Зайцев Г.С. Усовершенствование технологии производства: стали марки 80P в условиях ЭСПЦ ОАО «ММК» // Теория и технология металлургического производства: межрегион. сб. науч. трудов / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск, 2012. Вып. 12. С. 43-48.
8. Усовершенствование сквозной технологии производства бунтового проката из стали марки 80P в условиях ОАО «ММК» / А.Г. Корчунов, В.А. Бигеев, А.Б. Сычков, Г.С. Зайцев, Ю.А. Ивин, А.Ю. Дзюба // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №2 (42). С. 29-35.
9. Сквозная технология производства бунтового проката из стали марки 80P/В.М. Колокольцев, М.В. Чукин, В.А. Бигеев, А.Б. Сычков, Г.С. Зайцев // Перспективы развития металлургии и машиностроения с использованием завершенных фундаментальных исследований и НИОКР: материалы науч.-практич. конф. с международным участием и элементами школы для молодых ученых. Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2013. С. 235-239.
10. Бигеев В.А., Сычков А.Б., Зайцев Г.С. Совершенствование технологии производства высокоуглеродистой эвтектоидной стали при помощи эффективного модифицирования и микролегирования // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Энергосбережение. Экология. Новые технологии: материалы X Всерос. науч.-практич. конф. с международным участием. Старый Оскол, 2013. С. 3-8.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE FEATURES OF HIGH CARBON WIRE ROD MANUFACTURING TECHNIQUE

Sychkov Alexandr Borisovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: ab-sychkov@mail.ru.

Parusov Vladimir Vasilievich – D.Sc. (Eng.), Professor, Head of Metal Heat Treatment For Engineering department, Z.I. Nekrasov Institute of Ferrous Metallurgy, National Academy of Sciences of Ukraine.

Ivin Yury Alexandrovich – Head of Electric Steelmaking Laboratory (Key Laboratory of Plant) of OJSC Magnitogorsk Iron and Steel Works, Russia.

Dziuba Anton Yurievich – Head of Profiled Rolling Laboratory (Key Laboratory of Plant) of OJSC Magnitogorsk Iron and Steel Works, Russia.

Zaitsev Gregory Sergeevich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Acting Principal Engineer of Meltshop, OJSC Magnitogorsk Iron and Steel Works, Russia.

Abstract. The article summarizes the results of studies carried out under conditions of Moldova Steel Works OJSC for the last 25 years. The science-based technological solutions to improve the qualitative characteristics of high carbon wire rod, which has a high deformability in drawing were resulted from. The staff of Z.I. Nekrasov Institute of Ferrous Metallurgy of National Academy of Sciences of Ukraine took an active part in these studies. The results of these studies are effectively introduced at other primary metals establishments, including OJSC «ММК», in particular, the technology for manufacturing of high carbon wire rod-rolled in coils of large diameter 15.5-16.0 mm, made of 80P steel for manufacture of new generation rails sleepers for heavy-laden and high-speed roads.

Keywords: steel, modification, microalloying, wire rod, structure, properties.

References

1. Parusov V.V., Sychkov A.B., Parusov E.V. *Theoretical and technological bases of production of high species wire rod*. Dnepropetrovsk: ART-PRESS, 2012, 376 p.
2. Sychkov A.B. *Razrabotka skvoznoy tehnologii proizvodstva effektivnykh vidov katanki iz nepreryvno-litoy zagotovki s povyshennym soderzhaniem primesey tsvetnykh metallov i azota: dis. ... d-ra tehn. nauk* [Development of production technology through effective types of wire rod continuously cast billets with a high content of non-ferrous metals and nitrogen. Dr. Diss.]. Minsk, 2005, 380 p.
3. Gubenko S.I. *Transformatsiya nemetallicheskh vklucheny v stali* [Transformation of non-metallic inclusions in steel]. Moscow: Metallurgy, 1991, 224 p.

4. Belalov H.N. Formation properties of the cable wire. *Stalnyie kanaty: Nauch. tr.* [Steel ropes: Scientific. works]. Odessa: Astroprint, 2001, pp. 105-116.
5. Sychkov A.B., Zhigarev M.A., Nesterenko A.M., Zhukova S.Y., Peregoudov A.V. *Vyisokouglerodistaya katanka dlya izgotovleniya vyisokoprochnyih armaturnyih kanatov* [High carbon wire rod for the manufacture of high-strength reinforcing ropes]. Bender: Poligrafist, 2010, 280 p.
6. Parusov V.V., Nesterenko A.M., Sychkov A.B. etc. Wire rod Moldovan Metallurgical Plant for production of tire cord. *Stalnyie kanaty: nauch. tr.* [Steel ropes: Scientific. Works]. Odessa: Astroprint, 2001, pp. 99-105.
7. Bigeev V.A., Sychkov A.B., Zaitsev G.S. Improvement of production technology steel 80P under EAFP OJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works». *Teoriya i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva: mezhregion. sb. nauch. trudov / pod red. V.M. Kolokoltseva.* [Theory and technology of steel production. Interregional Scientific. Works]. Ed. V.M. Kolokoltsev. Magnitogorsk, 2012, pp. 43-48.
8. Korchunov A.G., Bigeev V.A., Sychkov A.B., Zaitsev G.S., Ivin Y.A., Dziuba A.Y. Improvement of production technology through coils rolled steel grade 80P at OJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works». *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova.* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2013, no. 2 (42), pp. 29-35.
9. Kolokoltsev V.M., Chukin M.V., Bigeev V.A., Sychkov A.B., Zaitsev G.S. Through the technology of production coils rolled steel grade 80P. *Perpektivnyi razvitiya metallurgii i mashinostroeniya s ispolzovaniem zavershennyih fundamentalnyih issledovaniy i NIOKR: materialy nauch.-praktich. konf. s mezhdunarodnyim uchastiem i elementami shkolyi dlya molodyih uchenyih* [Prospects for the development of metallurgy and engineering completed using basic fundamental research and research and development. Scientific and practical conference with international participation and elements of a school for young scientists]. Ekaterinburg, 2013, pp. 235-239.
10. Bigeev V.A., Sychkov A.B., Zaitsev G.S. Improvement of production technology, high-carbon eutectoid steel began using the effective modification and microalloying. *Sovremennyye problemy gorno-metallurgicheskogo kompleksa. Energoberezhenie. Ekologiya. Novyye tehnologii: materialy X Vseros. nauch.-praktich. konf. s mezhdunarodnyim uchastiem* [Recent developments in the mining and metallurgical complex. Energy saving. Ecology. New technology. X All-Russian scientific and practical conference with international participation]. Stary Oskol, 2013, pp. 3-8.

От редакции

Коллективом ученых МГТУ им. Г.И. Носова в рамках научной школы «Развитие теории и технологии инновационных процессов получения и обработки изделий из перспективных, композиционных и наноструктурных материалов» под руководством профессора, доктора технических наук Чукина М.В. совместно со специалистами ОАО «Мотовилихинские заводы» (г. Пермь) реализуется комплексный проект по организации малотоннажного производства наноструктурированных заготовок из многофункциональных сплавов инварного класса нового поколения. Научные разработки по проекту осуществляются на базе НИИ «Наносталей» МГТУ им. Г.И. Носова с применением современного исследовательского оборудования. Проект реализуется в рамках Постановления Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. №218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства» (Договор с Минобрнауки России от 12 февраля 2013 г. № 02.G25.31.0040). Общая стоимость проекта за счет средств субсидий составляет 150 млн руб. Разрабатываемая наукоемкая продукция ориентирована на малотоннажное серийное производство изделий для высокотехнологичной техники нового поколения. Уникальное сочетание физико-механических свойств в разрабатываемых многофункциональных инварных сплавах (например, высокая механическая прочность при аномально низком значении коэффициента температурного линейного расширения) открывает широкие перспективы применения изделий из таких материалов в различных отраслях мировой экономики.

УДК 669.018.58.017

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И СТРУКТУРЫ ВЫСОКОПРОЧНЫХ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СПЛАВОВ ИНВАРНОГО КЛАССА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ*

Чукин М.В.¹, Голубчик Э.М.¹, Гун Г.С.¹, Копцева Н.В.¹, Ефимова Ю.Ю.¹, Чукин Д.М.¹, Матушкин А.Н.²

¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

² Мотовилихинские заводы, г. Пермь, Россия

Аннотация. В настоящее время для разработки техники нового поколения широкую востребованность получают материалы на базе многофункциональных сплавов с особыми физико-механическими свойствами. Одним из таких материалов являются инварные сплавы с минимальным тепловым расширением и повышенным уровнем механических свойств, в частности прочности (σ_b) и твердости (HV). Такие материалы необходимы для создания компонентов навигационных систем (акселерометры, гироскопы), датчиков малых перемещений, лазерной техники (юстировочные узлы, зеркала), антенн, волноводов и т.д. Представлены результаты комплексных исследований инновационных высокопрочных многофункциональных сплавов инварного класса. Показано влияние режимов термической обработки на формирование структуры и физико-механических свойств исследуемых сплавов на примере железоникелевых композиций, легированных углеродом, кобальтом и ванадием. Применительно к условиям ОАО «Мотовилихинские заводы» разработана базовая промышленная технология изготовления наноструктурированных заготовок из многофункциональных сплавов нового поколения, обеспечивающая достижение повышенного уровня механической прочности ($\sigma_b \approx 1100$ МПа) и аномально низких значений коэффициента термического линейного расширения ($\text{ТКЛР} \leq 1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$).

Ключевые слова: многофункциональные сплавы, инвары, прочность, термдеформационное упрочнение, температурный коэффициент линейного расширения, Gleeble 3500.

Введение

В 2013 г. коллективом ученых ФГБОУ ВПО «МГТУ» совместно со специалистами ОАО «Мотовилихинские заводы» (г. Пермь) начата реализация проекта по созданию мини-завода по изготовлению наноструктурированных заготовок из многофункциональных сплавов нового поколения на железоникелевой основе, обладающих минимальным значе-

нием температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) и высоким уровнем механических свойств [1-3].

Рост мировой потребности различных отраслей промышленности в подобных сплавах обусловлен тем, что на сегодняшний день практически исчерпаны как возможности используемых традиционных инварных материалов, так и дальнейшее повышение качества и эксплуатационных свойств изделий на их основе. В то же время получить качественно расширенные технические характеристики изделий можно, если при их изготовлении использовать принципиально новые материалы и инновационные разработки в области технологий изготовления изделий из таких материалов. Таким примером могут служить высоко-

* Работа проведена в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, выполняемого с участием российского высшего учебного заведения (договор №02.G25.31.0040); программы стратегического развития университета на 2012-2016 гг. (конкурсная поддержка Минобрнауки РФ программ стратегического развития ГОУ ВПО).

прочные сплавы инварного класса нового поколения, одновременно сочетающие уникальный набор физико-механических свойств высокого уровня, в том числе ферромагнитные инварные сплавы (36Н, 32НК, 32НКД, 29НК), магнитномягкие сплавы (например, 79НМ), немагнитные инварные сплавы, сплавы с высокими упругими свойствами, сплавы с высоким омическим сопротивлением, сплавы с заданными свойствами упругости и с температурно-стабильным модулем упругости (элинварные – 36НХТЮ, 36НХТЮ8М), термобиметаллы и др. Эти многофункциональные сплавы относятся к высокотехнологичным изделиям, составляющим верхний этаж мирового рынка подобных материалов [4-9].

При этом концепция создаваемого производства металлоизделий из новых высокопрочных многофункциональных материалов предусматривает получение длинномерных прутков преимущественно круглого и квадратного поперечного сечений с диаметром или стороной квадрата 6-20 мм. Разрабатываемая продукция ориентирована на серийное производство изделий для современной высокотехнологичной техники, а также техники нового поколения, используемой в авиационной и ракетно-космической отраслях промышленности, приборостроении, медицине, атомной энергетике, геодезии, судостроении, оборонной и нефтегазовой промышленности, металлургии и т.д.

Теория, материалы и методы исследования, технические и технологические разработки

Для проведения исследований по разработке наноструктурированных заготовок из многофункциональных сплавов инварного класса, а также для качественной и количественной оценки различных параметров разрабатываемых материалов используется оборудование научно-исследовательского института наносталей ФГБОУ ВПО «МГТУ». Проведение научно-технических разработок по проекту производится в кооперации с профильной лабораторией одного из ведущих зарубежных вузов – Czestochowa University of Technology, факультет инженерии процессов, материалов и прикладной физики (г. Ченстохова, Польша) [10].

За основу исследования был принят многофункциональный сплав инварного класса 32НУКФ, содержащий: 32% Ni, 4,5% Co, 1,2% V и 0,5% C. Для формирования нормируемых физико-механических свойств (ТКЛР $\approx 0,5 \cdot 10^{-6} \div 3,0 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, твердость HV ≥ 310 , временное сопротивление $\sigma_B \geq 800 \text{ МПа}$) сплав подвергался термомодеформационному воздействию. При этом особое внимание на данном этапе исследования уделялось влиянию режимов термической обработки, которая заключалась в следующем:

- закалка от температуры 1200-1320°C с разной скоростью охлаждения, имитирующей охлаждение на воздухе и в масле, для получения минимального значения ТКЛР;

- нагрев до температуры $\approx 650^\circ\text{C}$ с выдержкой в течение 1 ч и охлаждением, имитирующем охлажде-

ние на воздухе, что обеспечивает стабильность ТКЛР при дальнейшем технологическом нагреве до указанной температуры;

- отпуск при температуре 300°C с выдержкой в течение 1 ч и последующим охлаждением;

- старение при температуре 80°C в течение 48 ч для повышения стабильности размеров изделий в течение длительного времени.

Физическое моделирование указанных процессов термической обработки реализовывалось на исследовательском комплексе Gleeble 3500 на образцах диаметром 10 мм и длиной 80 мм [11]. Нагрев осуществлялся прямым пропусканием тока, что позволяло создать заданную скорость до 10000°C/с и/или поддерживать постоянную равновесную температуру. После каждой стадии термической обработки производилось определение ТКЛР с помощью стандартного модуля Pocket Jaw комплекса. В качестве измерительного прибора использовался высокоточный dilatометр, входящий в состав комплекса, при этом точность измерения геометрических параметров составляла 0,4 мкм. Термический режим проведения испытаний в соответствии с ГОСТ 14080-78 сводился к нагреву со скоростью 3°C/мин до температуры 150°C, выдержке при этой температуре в течение 20 мин и охлаждению со скоростью 10°C/мин. Во время испытания dilatометр вел запись данных по изменению линейных размеров образца, которые анализировались при помощи стандартного программного пакета Origin®, встроенного в систему Gleeble 3500, обладающего математическими функциями для анализа данных. Полученная информация представлялась в виде графика зависимости удлинения от времени, по которому и определялся ТКЛР.

Для микроанализа по стандартной методике изготавливались микрошлифы с использованием запрессовки в смолу «Transoptic» на автоматическом прессе Simplimet 1000 на линии пробоподготовки фирмы Buehler. Для выявления микроструктуры поверхность шлифов подвергалась травлению в 4%-ном растворе азотной кислоты в этиловом спирте методом погружения полированной поверхности в ванну с реактивом.

Структура была исследована на оптическом микроскопе Meiji Techno при увеличениях от 50 до 1000 крат с использованием системы компьютерного анализа изображений Thixomet PRO, а при увеличениях более 1000 крат – методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) во вторичных и упругоотраженных электронах с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM 6490 LV. Микрорентгеноспектральный анализ (МРСА) проводился с использованием приставки к сканирующему микроскопу – системы INCA Energy. Микротвердость оценивалась методом вдавливания алмазной пирамиды на твердом теле Buehler Micromet в соответствии с ГОСТ 9475-76.

Результаты исследования и их обсуждение

Характерная микроструктура исследованного инварного сплава, полученная при моделировании полного цикла описанной термической обработки, представлена на рис. 1.

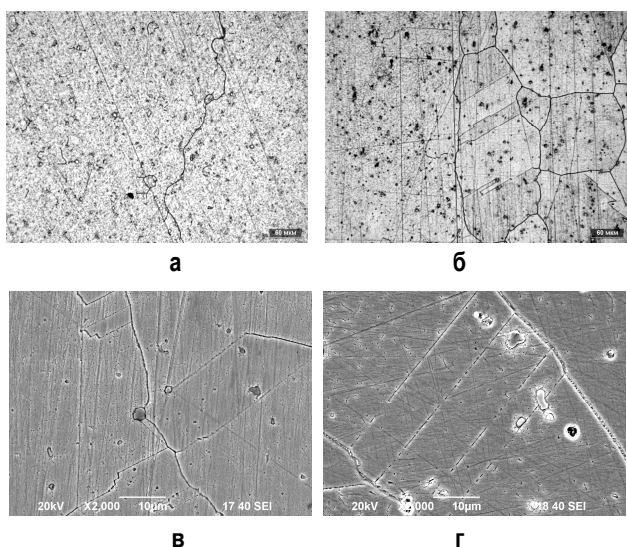


Рис. 1. Структура высокопрочного инварного сплава после полного цикла термической обработки: закалка от 1200°С в масле (а – х 200, в – РЭМ); закалка от 1320°С на воздухе (б – х200, г – РЭМ)

Структура представляет собой гетерогенную систему из зерен различного размера, дисперсных включений и более крупных частиц. Дисперсные включения размером от 60 до 130 нм и более крупные

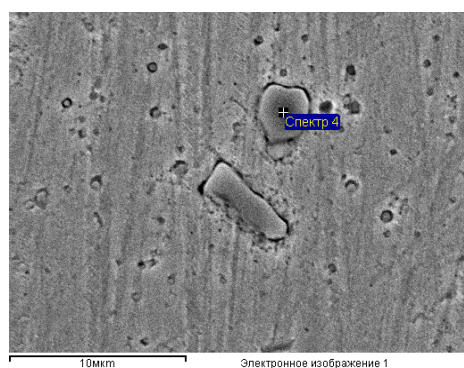
частицы размером 300–420 нм достаточно равномерно распределены по всему сечению образца (рис. 1, а, б). В зернах матрицы обнаруживаются двойники (рис. 1, в, г). При этом самые крупные частицы имеют размеры в поперечнике до 2 мкм и в длину до 5 мкм и располагаются преимущественно на границах зерен или двойников (см. рис. 1, г).

Результаты микрорентгеноспектрального анализа МРСА позволили идентифицировать фазовый состав сплава (рис. 2).

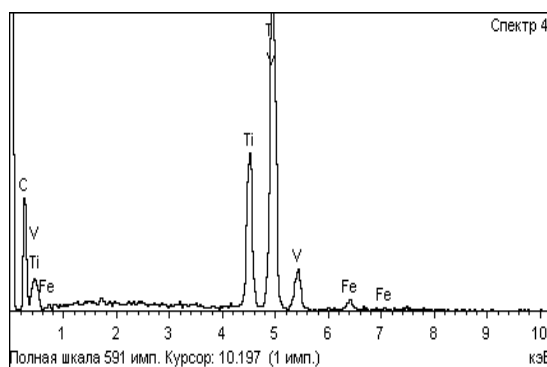
В матрице микроstructures образцов, обработанных по разным режимам, обнаруживаются Fe, Ni, Co и C (рис. 2, а, б), что позволяет идентифицировать ее как γ -твердый раствор. В дисперсных включениях и частицах присутствуют V (~50%), Ti (~14%) и C (рис. 2, в, г), что позволяет идентифицировать эти фазы, как карбиды типа (V,Ti)C.

Твердость сплава, в котором была смоделирована закалка от 1320°С на воздухе, составила HV 378 и оказалась выше твердости сплава, в котором была смоделирована закалка от 1200°С в масле – HV 311 (что ориентировочно соответствует временному сопротивлению $\sigma_B \approx 1260$ МПа и $\sigma_B \approx 1030$ МПа).

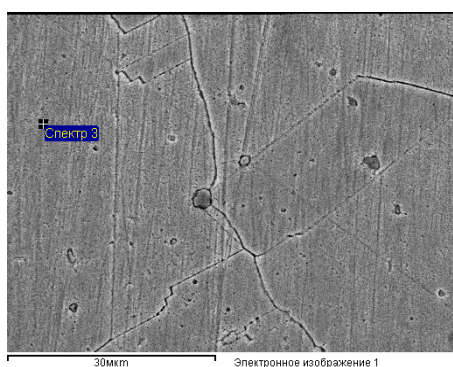
Полученные значения ТКЛР на различных стадиях термической обработки инварного сплава типа 32НУКФ в процессе осуществления физического моделирования в условиях Gleeble 3500 представлены на рис. 3.



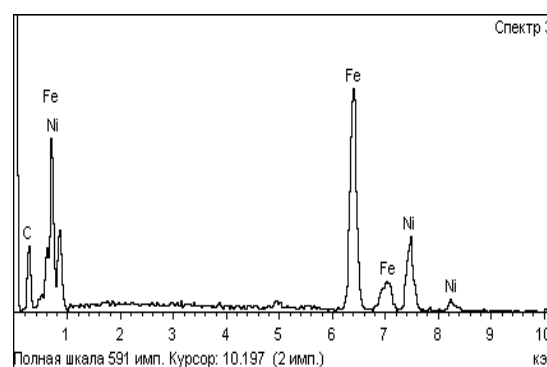
а



б



в



г

Рис. 2. Электронное изображение исследуемых участков микроstructures (а, в) и характеристические спектры, снятые с частиц (б) и матрицы (г) микроstructures после стабилизирующего старения при 80°С сплава, первоначально закаленного от 1200°С в масле

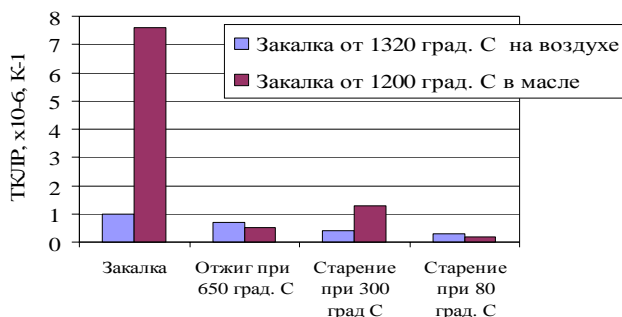


Рис. 3. Значения ТКЛР на различных этапах термической обработки

Анализ научно-технической литературы по вопросам технологий производства инварных сплавов, а также результаты проведенных комплексных исследований позволили разработать принципиальную технологическую схему изготовления наноструктурированных заготовок из исследуемых высокопрочных многофункциональных сплавов инварного класса применительно к условиям промышленного производства ОАО «Мотовилихинские заводы» (рис. 4).



Рис. 4. Базовая технологическая схема изготовления наноструктурированных заготовок из высокопрочных многофункциональных сплавов со специальными свойствами

Выводы

В ходе проведенных комплексных исследований по влиянию режимов термодформационной обработки на уровень физико-механических свойств высоко-

прочных многофункциональных сплавов инварного класса нового поколения были выявлены особенности формирования структуры инварного сплава типа 32НУКФ, а также спроектирована базовая опытно-промышленная технология изготовления наноструктурированных заготовок из данных материалов, обеспечивающая сочетание высоких прочностных характеристик с аномально низкими значениями ТКЛР.

Список литературы

- Освоение новых технологий производства многофункциональных сплавов инварного класса с повышенными эксплуатационными свойствами / Колокольцев В.М., Чукин М.В., Голубчик Э.М., Родионов Ю.Л., Бухвалов Н.Ю. // *Металлургические процессы и оборудование*. 2013. №3. С. 47-52.
- Разработка композиций многофункциональных сплавов инварного класса с расширенными эксплуатационными характеристиками / Чукин М.В., Голубчик Э.М., Кузнецова А.С., Родионов Ю.Л., Кормс И.А., Касаткин А.В., Подузов Д.П. // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2013. №3. С. 62-66.
- Организация малотоннажного производства наноструктурированных заготовок из многофункциональных сплавов со специальными свойствами / Колокольцев В.М., Чукин М.В., Гун Г.С., Бухвалов Н.Ю., Голубчик Э.М., Кузнецова А.С., Пустовойт К.С. // *Труды IX конгресса прокатчиков*. Т. 1. Череповец: ФГБОУ ВПО ЧГУ, 2013. С. 248-251.
- Высокопрочные инварные сплавы / Родионов Ю.Л., Щербинский Г.В., Максимова О.П., Юдин Г.В. // *Сталь*. 2000. №5. С. 76-80.
- Rodionov Y.L., Mogutnov B.M., Shaposhnikov N.G., Korms I.A., Pozdnyakov V.A., Mishanin S.V., Malinov V.I. Alloys with thermal expansion matching to electrolyte materials for solid oxide fuel cells // *International Journal of Materials Research*. July, 2010, pp. 907-913.
- Silman G.I. Compilative Fe-Ni phase diagram with author's correction // *Metal Science and Heat Treatment*. July, 2012, vol. 54, no. 3-4, pp.105-112.
- Grachev S.V., Filippov M.A., Chermenskii V.I., Kharchuk M.D., Konchakovskii I.V., Zhilin A.S., Tokarev V.V., Nikiforova S.M.. Thermal properties and structure of cast carbon-containing invar and superinvar alloys after two-stage annealing // *Metal Science and Heat Treatment*. vol.55, no.3-4, July, 2013, pp. 124-128.
- Chukin M.V., Korchunov A.G., Gun G.S., Polyakova M.A., Koptseva N.V., Nanodimensional structural part formation in high carbon steel by thermal and deformation process // *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2013. №5. P. 33-36.
- Перспективы производства высокопрочной стальной арматуры из высокоуглеродистых марок стали / Чукин М.В., Гун Г.С., Корчунов А.Г., Полякова М.А. // *Черные металлы*. 2012, дек. С. 8-15.
- Реализация проекта малотоннажного производства наноструктурированных заготовок из многофункциональных сплавов со специальными свойствами / Чукин М.В., Гун Г.С., Голубчик Э.М., Кузнецова А.С., Бухвалов Н.Ю. // *XIV International scientific conference «New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering»*. A collective monograph edited by prof. dr hab inż. Henrek Dya, dr hab. inż. Anna Kawalek, prof. PCz. Chapter 1. Series: Monografie Nr 24. Polish. Czestochowa, 2013. С. 374-379.
- Чукин Д.М., Ишимов А.С., Жеребцов М.С. Использование комплекса Gleeble 3500 для анализа фазовых превращений в стали эвтектоидного состава, микролегированной бором // *Обработка сплошных и слоистых материалов: межвуз. сб. науч. тр. / под ред. М.В. Чукина*. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. Вып. 38. С. 53-57.

THE STUDY OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES AND STRUCTURE OF HIGH-STRENGTH ALLOYS OF INVAR ALL-IN-ONE-GENERATION CLASS

Chukin Mihail Vitalevich – D.Sc. (Eng.), Professor, First Vice-Rector-Vice Rector for Science and Innovation, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: m.chukin@mail.ru.

Golubchik Eduard Mikhailovich – Ph.D. (Eng), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: golub66@mail.ru.

Gun Gennadij Semenovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Advisor to the Rector, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: goon@magtu.ru.

Koptseva Natalia Vasilyevna – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: koptsev2002@mail.ru.

Efimova Yuliya Yuryevna – Ph.D. (Eng), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: jefimova78@mail.ru.

Chukin Dmitriy Mikhajlovich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia.

Matushkin Aleksey Nikolaevich – Director of the Plant of Precision Alloys, OJSC Motovilikhinskiye zavody, Perm, Russia.

Abstract. Materials on the base of multifunctional alloys with the special physical and mechanical properties for developing the equipment of new generation are in high demand at present. Among these materials are Invar alloys with the minimum thermal expansion and the increased level of mechanical properties, in particular, strength ((c) hardness (HV)). Such materials are necessary for creating the components of navigation systems (accelerometers, gyroscopes), sensors of small displacements, laser technology (adjustment units, mirror), antennas, waveguides, etc. The results of complex research of innovative high-strength multifunctional invar class alloys are presented. The effect of thermal treatment on the formation of structure and physical and mechanical properties of alloys in terms of iron nickel alloys, carbon, cobalt and vanadium is shown. Relating to the conditions of OJSC Motovilikhinskiye zavody the base industrial technology of the production of the nano-structured billets of the multifunctional alloys of new generation has been developed. This technology ensures to achieve the increased level of mechanical strength ($\sigma_s \approx 1100$ MPa) and anomalously low values of the thermal linear expansion coefficient ($\leq 1 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$).

Keywords: feature-rich alloys, high-strength invar, durability, treatment, deformation, Gleeble 3500.

References

- Kolokoltsev V.M., Chukin M.V., Golubchik E.M., Rodionov Yu.L., Bukhvalov N.Yu. Osvoenie novykh tekhnologij proizvodstva mnogofunkcional'nykh splavov invarnogo klassa s povyshennymi ekspluatatsionnymi svoystvami [Development of new technologies for the production of multifunctional alloy invarnogo class with elevated performance properties]. *Metallurgicheskie processy i oborudovanie* [Metallurgical processes and equipment]. 2013, no. 3, pp. 47-52.
- Chukin M.V., Golubchik E.M., Kuznetsova A.S., Rodionov Yu.L., Korms I.A., Kasatkin A.V., Poduzov D.P. Razrabotka kompozitsij mnogofunkcional'nykh splavov invarnogo klassa s rassirennymi ekspluatatsionnymi harakteristikami. [Development of multifunctional alloy invarnogo class compositions with enhanced performance]. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tehnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2013, no. 3, pp. 62-66.
- Kolokoltsev V.M., Chukin M.V., Gun G.S., Bukhvalov N.Yu., Golubchik E.M., Kuznetsova A.S., Pustovoyt K.S. Organizatsiya malotonnazhnogo proizvodstva nanostrukturirovannykh zagotovok iz mnogofunkcional'nykh splavov so special'nymi svoystvami [Organization of small tonnage production of multifunctional nanostructured alloys with special properties]. *Trudy IX kongressa prokatchikov* [Proceedings of the IX Congress rolling]. vol. 1. Cherepovets, RUSSIAN STATE UNIVERSITY CSU. 2013, pp. 248-251.
- Rodionov Yu.L., Serbedinskiy G.V., Maksimova O.P., Yudin V.I. Vysokoprochnye invarnye splavy [High-strength alloys /Invar]. *Stal'* [Steel]. 2000, no. 5, pp. 76-80.
- Rodionov Y.L., Mogutnov B.M., Shaposhnikov N.G., Korms I.A., Pozdnyakov V.A., Mishanin S.V., Malinov V.I. Alloys with thermal expansion matching to electrolyte materials for solid oxide fuel cells. *International Journal of Materials Research*. July, 2010, pp. 907-913.
- Silman G.I. Compilative Fe-Ni phase diagram with author's correction. *Metal Science and Heat Treatment*, July, 2012, vol. 54, no. 3-4, pp. 105-112.
- Grachev S.V., Filippov M.A., Chermenskii V.I., Kharchuk M.D., Konchakovskii I.V., Zhilin A.S., Tokarev V.V., Nikiforova S.M. Thermal properties and structure of cast carbon-containing invar and superinvar alloys after two-stage annealing. *Metal Science and Heat Treatment*, July, 2013, vol. 55, no. 3-4, pp. 124-128.
- Chukin M.V., Korchnunov A.G., Gun G.S., Polyakova M.A., Koptseva N.V., Nanodimensional structural part formation in high carbon steel by thermal and deformation process. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2013, no. 5, pp. 33-36.
- Chukin M.V., Gun G.S., Korchnunov A.G., Polyakova M.A. Perspektivy proizvodstva vysokoprochnoj stal'noj armatury iz vysokouglerodistykh marok stali [Prospects of production of high-strength steel reinforcement of high-carbon steel]. *Chernye metally* [Non-ferrous metals]. December, 2012, pp. 8-15.
- Chukin M.V., Gun G.S., Golubchik E.M., Kuznetsova A.S., Bukhvalov N.Yu. Realizatsiya proekta malotonnazhnogo proizvodstva nanostrukturirovannykh zagotovok iz mnogofunkcional'nykh splavov so special'nymi svoystvami [Realization of the project of small tonnage production of multifunctional nanostructured alloys with special properties]. *XIV International scientific conference «New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering. A collective monograph edited by Prof. dr HAB. inz. Henrek Dyja, dr HAB. inz. Anna Kawalek, Prof. PCz. Chapter 1. Series: Monografie Nr 24. Polish. Czestochowa*, 2013, pp. 374-379.
- Chukin D.M., Ishimov A.S., Jerebcov M.S. Ispolzovanie kompleksa Gleeble 3500 dla analiza fazovykh prevrasenij v stali evtektoidnogo sostava, mikrolegirovannoj borom [Gleeble 3500 using complex analysis of phase transformations in steel evtektoidnogo, mikrolegirovannoj with boron]. *Obrabotka splosnykh i sloistykh materialov: mezhvuz. sb. nauch. tr. / Pod red. M.V. Chukina* [Processing of solid and laminated materials: Proceedings of the collected works. Ed. M.V. Chukin]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2012, no. 38, pp. 53-57.

От редакции

Научная школа МГТУ им. Г.И. Носова «Развитие теории и технологии инновационных процессов получения и обработки изделий из перспективных, композиционных наноструктурных материалов» усилиями нескольких поколений магнитогорских ученых специальности «Обработка металлов давлением» заняла достойное место в мировой науке. Имена ученых старшего поколения – Г.Э. Аркуписа, М.И. Бояршинова, В.В. Мельцер-Шафрана, В.А. Курдюмовой, нынешних «ветеранов»-прокатчиков – Г.С. Гуна, В.Л. Стебляно, В.Ф. Рашникова, В.М. Салганика, С.А. Тулупова, В.Г. Дорогобида, В.А. Харитонова, молодых талантливых – М.В. Чукина, И.Г. Гуна, О.Н. Тулупова, А.М. Песина, И.Ю. Мезина, «новоиспеченных» докторов – И.А. Михайловского, А.Б. Моллера и многих других, включая авторов статьи, хорошо известны в настоящее время научной общественности своими достижениями.

Две кафедры МГТУ им. Г.И. Носова, выпускающие специалистов по обработке металлов давлением, неоднократно занимают первые-вторые места в российском рейтинге профессиональных специальностей вузов; широко известны практические разработки магнитогорцев, внедренные на Магнитогорском металлургическом комбинате и других предприятиях отрасли. В 2013 году в Институте металлургии, машиностроения и материалобработки МГТУ создан научно-исследовательский институт металлургических технологий и обработки материалов давлением, который возглавил профессор Салганик В.М.

УДК 621.771.23

РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ И ТЕХНОЛОГИИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Салганик В.М.¹, Чикишев Д.Н.¹, Денисов С.В.¹, Полецков П.П.¹, Румянцев М.И.¹, Куницын Г.А.²

¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

² Магнитогорский металлургический комбинат, Россия

Аннотация. Представлена характеристика совместной научной деятельности прокатчиков Магнитогорского металлургического комбината и Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова и ее инновационная направленность. Выделены наиболее значимые результаты, достигнутые листопрокатчиками в теории и технологии. Рассмотрены наиболее крупные внедренные разработки. Показаны перспективы развития совместной научной деятельности МГТУ с ММК.

Ключевые слова: научная деятельность, прокатка, инновационный процесс, теория, технология производства, внедрение, перспектива развития, модель технологического процесса, трубная заготовка, высокопрочный прокат, стан 5000, стан 2000.

Введение

Развитие науки, в том числе связанной с листовой прокаткой, идет различными путями и зависит от многих факторов и их взаимодействий. На интенсивность и плодотворность такого развития сильное влияние оказывают злостные процессы – такие как строительство новых объектов листовой прокатки, неотвратимая разработка инновационных решений, поддержка науки финансово обеспеченными и властными структурами. Все эти факторы налицо в прогрессе листовой прокатки. Здесь играют свою значимую роль уникально большие и важные производственные объекты, современность производимого сортамента, наличие большого научного задела для прогресса научных разработок. Указанные факторы свидетельствуют о том, что научный базис того или иного технологического процесса прогрессирует не случайным путем, а опирается на четкие критерии. Среди них важную роль играет сформировавшаяся потребность в соответствующих научных разработках, возможность их финансирования и совместный интерес к становлению такой мощной отрасли промышленности, как листовая прокатка.

В развитии научной деятельности важную роль иг-

рает необходимость соответствующего развития, которая диктуется самым веским аргументом – большими затратами на всех стадиях производственного цикла: от выдачи технического задания на создание цеха до пуска оборудования в работу. Научно-исследовательская деятельность прокатчиков МГТУ проходит в тесном взаимодействии со специалистами ОАО «ММК» и отличается инновационной целенаправленностью и ориентацией на выпуск наиболее прогрессивной и прибыльной продукции, которую зачастую можно отнести к эксклюзивной (см. **рисунок**) [1-2].

Движущей силой, побуждающей к интенсивной научной работе, является, с одной стороны, высокий внутренний научный уровень, который создавался, развивался и внес свой материальный вклад в производство за счет чисто научных наработок. Другой побудительный мотив научного развития – это внешние условия: необходимость эффективной эксплуатации на основе новейших технологий современного технологического оборудования. В этом случае наука действует как бы извне, подталкивая к инновационному решению новые цехи.

Конечно, в научных достижениях колоссальную роль играют люди – их квалификация, активность, смелость в поиске и применении новых процессов.

Таким образом, комплексное взаимодействие внутренних и внешних факторов – залог движения вперед и освоения новейших технологий. Достижимые при этом значимые результаты разнообразны и многоплановы. В том числе и наработки магнитогорских прокатчиков имеют значимые многообразные выходы.



Структура совместной научной деятельности прокатчиков МГТУ и ММК

Отдельно надо сказать о серьезной роли моделей и моделировании в научных достижениях. Традиционно уже более 60 лет кафедра ОМД и специалисты-прокатчики строили, совершенствовали, программировали модели технологических процессов и, как результат, выполняли эффективное моделирование. Без моделирования в настоящее время не выполняется ни одна серьезная работа. Моделирование используется как общая методология познания. В нашем случае – познание всех нюансов и особенностей листопрокатного производства.

Если в прошлые годы моделирование, как правило, ограничивалось энергосиловыми параметрами, геометрией, то в последнее время моделированию подвергаются научные и фундаментальные основы процесса деформирования. С этим связаны и изучение структуры материалов, эволюция структуры, роль фазовых превращений и термокинетических диа-

грамм. Получается так, что по мере движения науки вперед, с одной стороны, раскрываются производственные факторы, определяющие успех процесса, а с другой – приходится вникать в фундаментальные процессы и их развитие, без знания которых невозможно построить уникально развитые агрегаты.

Достижения науки и ее развитие в Магнитогорске определяется рядом взаимодействующих факторов.

1. Кадры. Магнитогорский дивизион прокатчиков имеет сильных, грамотных сотрудников с большим опытом научных исследований. К ним относятся: во-первых, руководитель всей научно-производственной деятельности, Председатель Совета директоров ОАО «ММК», д-р техн. наук, профессор Виктор Филиппович Рашников. Далее нужно назвать ведущих ученых-прокатчиков – советника ректора, д-ра техн. наук, профессора Г.С. Гуна; зав. кафедрой ММТ, д-ра техн. наук, профессора М.В. Чукина; зав. кафедрой ОМД, д-ра техн. наук, профессора В.М. Салганика; работников ОАО «ММК», д-ров техн. наук С.В. Денисова, начальника ЦЛК, Г.А. Куницына, зам. начальника ЛПЦ-3 и их коллег с кафедры ОМД МГТУ – О.Н. Тулупова, А.Б. Моллера, А.М. Песина, П.П. Полецкова, М.И. Румянцева, Н.Г. Шемшурова и др. Эти коллеги имеют собственные многолетние наработки, которые служат исходными данными для действующих и новых работ [3-4]. Наряду с этими маститыми учеными активно работает та молодежь, которая только начинает свой путь в науку. Это кандидаты технических наук Чикишев Д.Н., Синицкий О.В., Локотунина Н.М., Бережная Г.А., Пустовойтов Д.О., Левандовский С.А., Кинзин Д.И. и др.

2. Технологическое развитие. Питательной средой для активной научной работы является авангардное развитие комбината с использованием таких новейших технологий, как толстолистовой стан 5000, цех высокопрочного автомобильного листа со станом 2000, агрегатов покрытий и др. Эксплуатация этого оборудования постоянно ставит сложные вопросы наиболее эффективного его использования, которые должны решать молодые научные сотрудники в содружестве со специалистами ОАО «ММК». При этом широко используется математическое моделирование процессов, а вместе с ним и модели технологических операций в широком диапазоне параметров [5-6].

3. Насущные потребности в инновационных решениях, их разработке и реализации. Исследование технологических проблем применительно к современным станам и процессам – это лучший тренинг в области технологий, поиске предпочтительных режимов работы агрегатов и, наконец, получении грантов, именных стипендий, дипломов и других форм

поощрения плодотворной научной работы.

4. Результаты. Назовем некоторые наиболее эффективные результаты плодотворной научной деятельности сотрудничества ученых и производственников.

Применительно к стану 5000 – это освоение производства трубных заготовок, мостостроительных профилей, судостали и многих других новых видов продукции. Аналогично по стану 2000 получен высококачественный прокат по механическим свойствам, свариваемости, хладостойкости, не имеющий аналогов в нашей стране [7-8].

Выполнены исследования в рамках программы освоения производства в ОАО «ММК» холоднокатаного проката для автомобилестроения из высокопрочных марок стали. На основе обобщенного алгоритма автоматизированного проектирования режимов прокатки была создана комплексная математическая модель и компьютерная программа для определения энергосиловых параметров, производительности процесса и показателей качества продукции на непрерывных и реверсивных станах холодной прокатки ОАО «ММК». В дальнейшем указанные разработки использовали при освоении первой очереди комплекса холодной прокатки 2000. С применением модернизированной компьютерной программы автоматизированного проектирования были разработаны варианты режимов прокатки в НАТП полос различного размерно-марочного сортамента, а также выявлены рациональные сочетания суммарного обжатия и скорости прокатки на стане 2000 ЛПЦ-11 ОАО «ММК» полос из марок стали различных групп прочности [9-10].

Все это представляет собой широчайшее поле для разнообразных научных разработок, имеющих не только познавательное, но и многогранное практическое применение для промышленных нужд.

Заключение

Таким образом, в Магнитогорске сложился действующий высокоэффективный организм современных ученых – маститых и начинающих, молодых и пожи-

лых, преданных избранному пути и не изменяющих этому выбору. Их плодотворное сотрудничество, конечно, будет развиваться, решая теоретические и прикладные проблемы, отвечая на вопросы производства, применяя новейшие методики и алгоритмы.

Работать в этом коллективе интересно. Интересно ставить и решать сложные задачи, получать уникальные результаты. Будем продолжать эту сложную, тяжёлую, но благородную работу для России и россиян.

Список литературы

1. Салганик В.М., Чукин М.В. История развития и основные направления деятельности магнитогорской школы обработки металлов давлением // Черные металлы. 2011. Спец. выпуск. С. 21-25.
2. Основные направления деятельности научных школ прокатчиков Магнитогорска / В.Ф. Рашников, В.М. Салганик, Г.С. Гун, М.В. Чукин // Труды восьмого конгресса прокатчиков (Магнитогорск, 11-15 октября 2010 г.). Москва, 2010. Т.1. С. 479-490.
3. Салганик В.М. Кафедра обработки металлов давлением – образовательная и научная деятельность // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: междунар. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Салганика. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2012. С. 5-8.
4. Салганик В.М. История развития и основные направления деятельности кафедры обработки металлов давлением // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: межрегион. сб. науч. трудов. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. С. 5-13.
5. Полецков П.П., Салганик В.М. Улучшение профиля и плоскостности тонколистового проката. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2013. 82 с.
6. Песин А.М., Салганик В.М., Чикишев Д.Н. Развитие теории и технологии получения деталей крупногабаритных тел вращения. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. 102 с.
7. Салганик В.М., Денисов С.В. Технология широкополосной горячей прокатки полос с повышенными эксплуатационными свойствами для металлических конструкций. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. 81 с.
8. Повышение качества проката из трубных сталей путем минимизации подгибки концов толстых листов / В.М. Салганик, С.В. Денисов, Д.Н. Чикишев, П.А. Стеканов, А.В. Шмаков, А.В. Фомичев // Металлы. 2013. №6. С. 46-53.
9. Румянцев М.И. Методика разработки режимов листовой прокатки и ее применение // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И.Носова. 2003. №3. С. 16-18.
10. Сравнение методов прогнозирования деформационного упрочнения металла при автоматизированном проектировании режимов холодной прокатки / М.И. Румянцев, И.Г. Шубин, В.С. Митасов, В.В. Насонов и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И.Носова. 2012. №2. С. 55-58.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE DEVELOPMENT OF INNOVATION ROLLING PROCESS THEORY AND TECHNOLOGY

Salganik Viktor Matveyevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Head of Metal Forming Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8 (3519) 23-20-85. E-mail: omd@magtu.ru.

Chikishev Denis Nikolayevich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 29-85-25. E-mail: chikishev_denis@mail.ru.

Denisov Sergey Vladimirovich – D.Sc. (Eng.), Head of the Central Control Laboratory OJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works», Russia. E-mail: denisovservl@yandex.ru.

Poletskov Pavel Petrovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8 (3519) 29-85-25. E-mail: pavel_poletskov@mail.ru.

Rumyantsev Mikhail Igorevich – Ph.D. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8 (3519) 29-85-70. E-mail: mihigrum@mail.ru.

Kunitsyn Gleb Aleksandrovich – D.Sc. (Eng.), Deputy Head of Rolling Shop -3 OJSC «ММК», Russia. E-mail: kunicyn_gleb@mail.ru.

Abstract. The characteristic of cooperative research activities of OJSC MMK-MSTU rollermen and its innovative orientation is presented. Most significant results in theory and technology achieved by sheet rolling specialists are specified. The largest developments which were introduced in the metallurgical industry have been considered. The prospects of cooperative research and development activities between MSTU and MMK are illustrated.

Keywords: scientific activity, rolling, innovation process, theory, production technology, implementation, development perspective, model of technological process, pipe billet, high strength rolled steel, mill 5000, mill 2000.

References

1. Salganik V.M., Chukin M.V. Istoriya razvitiya i osnovnyye napravleniya deyatel'nosti magnitogorskoy shkoly obrabotki metallov davleniyem [History of development and main activities of Magnitogorsk Metal Forming School]. *Chernyye metally* [Ferrous metals], 2011, Special Issue, pp. 21-25.
2. Rashnikov V.F., Salganik V.M., Gun G.S., Chukin M.V. Osnovnyye napravleniya deyatel'nosti nauchnykh shkol prokatchikov Magnitogorska [The main activities of Magnitogorsk scientific schools of rolling specialist]. *Trudy vos'mogo kongressa prokatchikov* [Proceedings of the eighth Congress of rolling specialist]. Moscow, 2010, vol. 1, pp. 479-490.
3. Salganik V.M. Kafedra obrabotki metallov davleniyem – obrazovatel'naya i nauchnaya deyatel'nost' [Department of metal forming – educational and scientific activities] *Modelirovaniye i razvitiye protsessov obrabotki metallov davleniyem* [Modeling and development of metal forming processes]: Intern. collection of scientific papers. Ed. V.M. Salganik. Magnitogorsk: Publ. Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2012, pp. 5-8.
4. Salganik V.M. Istoriya razvitiya i osnovnyye napravleniya deyatel'nosti kafedry obrabotki metallov davleniyem [History and main activities of the Department of Metal Forming]. *Modelirovaniye i razvitiye protsessov obrabotki metallov davleniyem* [Modeling and development of metal forming processes]: Interregional collection of scientific papers. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2009, pp. 5-13.
5. Poletskov P.P., Salganik V.M. *Uluchsheniye profilya i ploskostnosti tonkolistovogo prokata* [Improving the profile and flatness of rolled products]. Magnitogorsk: Publ. Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2013, 82 p.
6. Pesin A.M., Salganik V.M., Chikishev D.N. *Razvitiye teorii i tekhnologii polucheniya detaley krupnogabaritykh tel vrashcheniya* [Development of theory and technology of large parts rotational bodies]. Magnitogorsk: Publ. Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2010, 102 p.
7. Salganik V.M., Denisov S.V. *Tekhnologiya shirokopolosnoy goryachey prokatki polos s povyshennymi ekspluatatsionnymi svoystvami dlya metallicheskih konstruksiy* [Technology of hot strip rolling with improved performance properties for metal construction]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2008, 81 p.
8. Salganik V.M., Denisov S.V., Chikishev D.N., Stekanov P.A., Shmakov A.V., Fomichev A.V. *Povysheniye kachestva prokata iz trubnykh staley putem minimizatsii podgibki kontsov tolstykh listov* [Improving the quality of pipe rolled steel by minimizing the ends hem of plates]. *Metally* [Metals], 2013, no. 6, pp. 46-53.
9. Rumyantsev M.I. *Metodika razrabotki rezhimov listovoy prokatki i yeye primeneniye* [Methods of development sheet rolling modes and its application]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2003, no. 3, pp. 16-18.
10. Rumyantsev M.I., Shubin I.G., Mitasov V.S., Nasonov V.V. *Sravneniye metodov prognozirovaniya deformatsionnogo uprochneniya metalla pri avtomatizirovannom proyektirovani rezhimov kholodnoy prokatki* [Comparison of methods for predicting the strain hardening of the metal at the automated designing modes of cold rolling]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2012, no. 2, pp. 55-58.

От редакции

На базе действующих в МГТУ им. Г.И. Носова научных школ, специализирующихся в областях обработки металлов давлением и управления качеством продукции, в 2001 г. по инициативе проф., д-р техн. наук, И.Г. Гуна была создана кафедра технологий, сертификации и сервиса автомобилей. Впоследствии при кафедре был организован научно-учебный комплекс «Перспективные технологии и конструкции автокомпонентов». В настоящее время идет активная работа по созданию первой в МГТУ им. Г.И. Носова базовой кафедры в области металлургии и машиностроения, располагающейся на одном из ведущих российских производителей автокомпонентов – ЗАО НПО «БелМаг».

Сотрудничество МГТУ им. Г.И. Носова и ЗАО НПО «БелМаг» длится уже более 10 лет, являя собой яркий пример успешного партнерства науки и производства. В университете проводится целый ряд исследований, посвященных совершенствованию технологических процессов производства автокомпонентов, при этом наиболее отличившиеся студенты получают распределение на преддипломную практику на предприятие с возможным последующим трудоустройством.

Тесные связи кафедра ТССА МГТУ им. Г.И. Носова поддерживает и с коллегами из ведущих отечественных вузов, среди которых следует отметить Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Тольятинский государственный университет и др.

Основные научные направления возглавляют доктора технических наук Гун И.Г., Мезин И.Ю., Михайловский И.А.

УДК 621.7

РАЗРАБОТКА, МОДЕЛИРОВАНИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ШАРОВЫХ ШАРНИРОВ АВТОМОБИЛЕЙ

Гун И.Г., Михайловский И.А., Осипов Д.С., Куцепендик В.И., Сальников В.В., Гун Е.И., Смирнов Ал.В., Смирнов Ар.В.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

Аннотация. В этой работе вы можете ознакомиться с обзором научно-технических проблем и тенденций, которые были исследованы авторами в ходе их работы по совершенствованию технологических процессов изготовления шаровых шарниров передней подвески и рулевого управления, а также их составных частей для автомобилей российского и зарубежного производства. В статье приведены основные научные и технические результаты, которые были достигнуты в рамках работы. Данные результаты направлены на повышение эффективности процессов производства, создание новых и совершенствование текущих процессов металлообработки, таких как холодная и горячая штамповка, листовая штамповка компонентов шарниров. Представлены результаты разработки нового оборудования и методов испытаний эксплуатационных характеристик шаровых шарниров, а также методов комплексных квалитетических оценок технологических процессов, систем качества и др.

Ключевые слова: разработка, совершенствование, обработка металлов давлением, технологические процессы, шаровые шарниры, параметры качества, моделирование, испытания, эксплуатационные характеристики.

Введение

Суммарную емкость рынка автомобильных компонентов, запчастей и материалов в России по итогам 2012 года аналитики агентства «Автостат» оценили более чем в 54 млрд USD. На долю первичного рынка приходится 45,4% от этого количества (24,5 млрд USD).

Средние темпы роста первичного рынка автокомпонентов составляют примерно 20-25% в год. Вторичный рынок запасных частей растет чуть менее быстрыми темпами (12-15% в год).

Спрос на качественные компоненты и запчасти в России растет. Его генерируют как уже действующие автосборочные предприятия иностранных производителей, так и отечественные автозаводы. Кроме того, потребители в последнее время также проявляют повышенный интерес к качественным запасным частям, что отражается на вторичном рынке.

Этот фактор заставляет российские автозаводы поднимать планку требований в области качества к своим поставщикам. При этом снижение текущей

рентабельности автомобильного производства диктует для партнеров условие повышения качества поставок без изменения цены.

Если говорить о мировой практике качества, то все поставщики ведущих мировых автопроизводителей выдерживают показатель от 10 до 50 PPM (дефектов на миллион изделий). Пять-семь лет назад допустимый уровень PPM на российских заводах равнялся 1000 дефектов на миллион, теперь на большинстве предприятий требования к уровню дефектов составляют 30-100 PPM и с каждым годом, учитывая долю иностранного капитала в собственности многих российских автопроизводителей, эти требования все больше унифицируются и повышаются.

Еще одной общемировой тенденцией, пришедшей на российский рынок, является привлечение поставщиков к процессу разработки комплектующих для новых моделей. А это, в свою очередь, ведет к необходимости самостоятельно вести исследовательские и конструкторские работы на предприятиях-производителях автокомпонентов.

В этом случае как инвестиционная, так и инжиниринговая нагрузка перемещается от автопроизводителя к поставщику.

Обзор результатов исследований и разработок кафедры ТССА при решении научно-технических задач в области совершенствования автокомпонентов

Кафедра технологий сертификации и сервиса автомобилей МГТУ им. Г.И. Носова совместно с техническими службами ЗАО НПО «БелМаг» (г. Магнитогорск) на протяжении уже более 10 лет ведут работу по совершенствованию сквозных технологических процессов производства шаровых шарниров и их комплектующих изделий для российских и зарубежных автомобилей, включая процессы ОМД, а также методов контроля и квалиметрической оценки качества продукции, процессов и систем менеджмента качества с целью обеспечения управления и улучшения качества готовой продукции, повышения эффективности и снижения себестоимости процессов производства. В новых разработках кафедры используется опыт и разработки, полученные в совместной работе с другими научными коллективами Уральского региона как в области обработки металлов давлением, так и при исследовании других способов производства автокомпонентов и их комплектующих изделий.

Общий комплекс научно-технических задач и направлений, которые были охвачены в работе, представлен на рис. 1.

Основные научно-технические результаты, которые были получены в процессе работы:

Совершенствование процессов закатки и запрессовки шаровых шарниров:

– Поиск эффективных условий процесса запрессовки шаровых шарниров подвески для автомобилей с увеличенной прочностью на выдавливание потребовал проведения исследования напряженно-деформированного состояния бурта корпуса при формировании сборочного соединения узла. С этой целью разработана модель процесса запрессовки шарового шарнира с применением метода конечных элементов.

– Произведен поиск эффективных условий проведения процесса запрессовки шарового шарнира. Были определены параметры оптимизации – геометрические размеры бурта корпуса и критерии: величина перекрытия – отношение длины плотного контакта бурта корпуса после деформации с горизонтальным участком поверхности обоймы вкладыша к длине сечения горизонтального участка обоймы вкладыша; износ инструмента при запрессовке; прочность шарового шарнира при выдавливании шарового пальца из корпуса. Оптимальные параметры процесса запрессовки были определены с учетом ограничений типа равенств и неравенств, соответствующих условиям задачи запрессовки и задачи выдавливания, а также ограничений на параметры процесса с учетом весомерности критериев качества изделия и процесса.



Рис. 1. Граф научно-технических задач и направлений работы кафедры ТССА ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова»

В результате разработан способ и режимы формирования сборочных соединений шаровых шарниров 2110-2904192-01, 2123-2904192-03, 21214-2904192, используемых при производстве переднеприводных и полноприводных автомобилей в ОАО «АВТОВАЗ» (г. Тольятти) и ЗАО «Джи Эм-АВТОВАЗ» (г. Тольятти).

Совершенствование технологии поверхностно-пластического деформирования сферических головок шаровых пальцев:

– Разработана на базе вариационного метода математическая модель процесса смятия микронеровности на сферической поверхности при поверхностном пластическом деформировании.

– Разработан новый способ поверхностного пластического деформирования, получивший название «планетарно-поворотная обкатка» (ППО). Регламентированы требования к качеству поверхности сферических головок шаровых пальцев, а также разработаны режимы обработки в зависимости от исходного состояния поверхности для производства шаровых пальцев шарниров переднеприводных и полноприводных автомобилей ВАЗ.

Разработанный новый способ поверхностного пластического деформирования головок шаровых пальцев – планетарно-поворотная обкатка и варианты его реализации (патенты РФ 2162785, 2188115, 2201325) позволяют обеспечить требуемый уровень качества данных компонентов шаровых шарниров при снижении затрат на их изготовление и повышении стабильности показателей качества как комплектующих изделий (высотные параметры шероховатости на поверхности головок шаровых пальцев), так и узлов в сборе (моменты сопротивления вращению и качанию шарового пальца).

Разработка и совершенствование процессов холодной листовой штамповки корпусов шаровых пальцев передней подвески:

– Разработана математическая модель холодной листовой штамповки корпусов шаровых шарниров передней подвески по переходам с использованием метода конечных элементов.

– Разработана новая технология процесса многопереходной листовой штамповки корпусов шаровых шарниров в последовательных штампах.

Модель позволила оптимизировать количество переходов корпусов 2108-2904191 и 2108-2904188, наиболее оптимально изменить раскрой ленты по переходам и снизить расход металла без возникновения дефекта «утонение стенок корпуса» в местах перегиба и максимальной вытяжки. В конечном итоге это позволило обеспечить соответствие нормативным требованиям параметра шарового шарнира в сборе – «вырыв шарового пальца из корпуса» и «выдавливание шарового пальца из корпуса» в ЗАО НПО «БелМаг».

Разработка и совершенствование процессов холодной объемной штамповки шаровых пальцев передней подвески:

– Исследованы упрочнения и неравномерность деформации в сферической головке шарового пальца при ХОШ на различных марках сталей (38ХГНМ, 12ХН, 40Х, 30Г2Р).

– Разработана математическая модель процесса ХОШ стержневых изделий с головками конической и сферической форм на базе вариационного метода в дискретной постановке. Определены энергосиловые параметры процесса [1].

– Разработана и запатентована новая схема технологического процесса ХОШ шаровых пальцев. Определены и рассчитаны переходы заготовок шаровых пальцев 2101-2904187-70 с учетом эффекта Баушингера.

Проведенная работа позволила реализовать серийное производство шаровых пальцев в условиях ОАО «Магнитогорский калибровочный завод» и ЗАО НПО «БелМаг».

Разработка новых методик оценки технологических процессов:

– Разработаны и апробированы методики оценки технологической эффективности процессов производства шаровых пальцев, основанные на вычислении комплексной оценки вероятности получения соответствующей продукции по заданным параметрам качества изделия.

– Разработана номенклатура показателей, характеризующая эффективность процесса производства шаровых пальцев для шаровых шарниров российских и иностранных автомобилей, включающая наряду с традиционными параметрами качества продукции и процесса комплекс организационно-экономических требований и новые функции свертки единичных оценок доминирующих показателей, единичных и групповых оценок доминирующих и компенсируемых показателей, удовлетворяющие основным положениям аксиоматики логики оценок [2-5].

Методики применялись для разработки наиболее результативной технологии производства шаровых пальцев для шаровых шарниров автомобилей «Додж Рэм» и «Рено Меган».

Разработка новых методик оценки систем менеджмента качества:

– Разработана концепция для определения критериев оценки результативности функционирования СМК предприятия, основанная на принципах менеджмента качества по МС ИСО 9000, а также критерии для оценки результативности функционирования СМК предприятия, реализующие предложенную концепцию.

– Разработана и обоснована математическая модель оценки результативности функционирования СМК на основе установленных критериев [6].

– Разработаны методики определения и балльной оценки комплексного показателя результативности функционирования СМК предприятия и составляющих его критериев, состоящих из единичных свойств.

Разработка и совершенствование оборудования и методов испытаний эксплуатационных характеристик шаровых шарниров:

– В результате анализа установлено, что показатели качества шаровых шарниров «циклическая долговечность шарового шарнира» и «гарантийный срок (пробег) эксплуатации шарового шарнира» являются потенциально дублирующими друг друга, следова-

тельно, не могут одновременно использоваться при проведении оценки результативности технологических процессов производства изделий.

– Для определения взаимосвязи между данными двумя показателями качества изделий разработана методика комбинированных испытаний шаровых шарниров передней подвески, включающая в себя одновременное проведение ускоренных стендовых и дорожных испытаний узлов с последующей комплексной обработкой результатов.

– Разработаны и изготовлены стенды для испытаний шаровых шарниров передней подвески и рулевого управления легковых автомобилей, которые, благодаря прогрессивной системе обеспечения имитационных движений, силовых воздействий и температурных режимов в рабочей зоне, позволяют создавать условия проведения стендовых испытаний, максимально приближенные к реальным условиям эксплуатации.

– В соответствии с методикой проведения комбинированных испытаний осуществлен комплексный анализ результатов ускоренных стендовых и дорожных испытаний, в результате которого определено

соотношение между показателями качества шаровых шарниров «гарантийный срок (пробег) шарового шарнира» и «циклическая долговечность шарового шарнира», составившее 22,86 циклов на 1 км пробега.

– Разработаны и апробированы в сравнении с реальными испытаниями методы расчетного определения параметров качества шаровых шарниров, влияющих на безопасность автомобиля в целом – «усилие вырыва», «усилие выдавливания», «ударная прочность шарового пальца», позволяющие на этапе проектирования контролировать соответствие данных показателей регламентированному уровню (рис. 2-5). Разработки позволяют при проектировании новых конструкций шаровых шарниров сокращать сроки проектирования и затраты на изготовление и испытание образцов. Кроме того, конструктивное решение, выбранное на основе экспертных оценок для обеспечения требуемых эксплуатационных характеристик, не всегда может быть оптимальным и, как правило, приводит к нецелесообразному увеличению металлоемкости конструкции, которое, в конечном итоге, отражается на её стоимости.

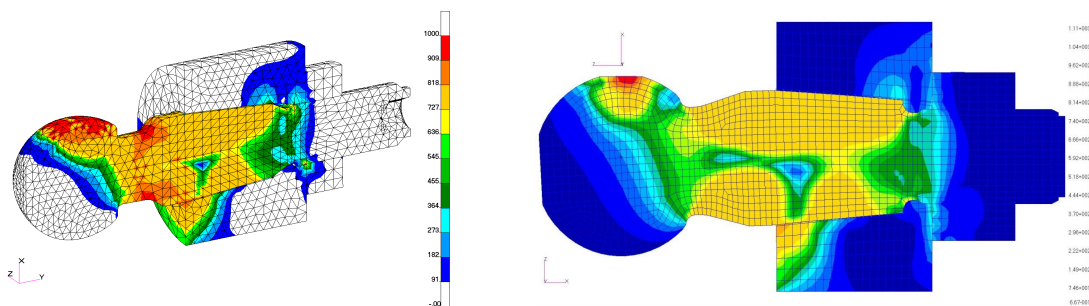


Рис.2. НДС шарового пальца при пластической деформации в процессе моделирования испытаний на ударную прочность

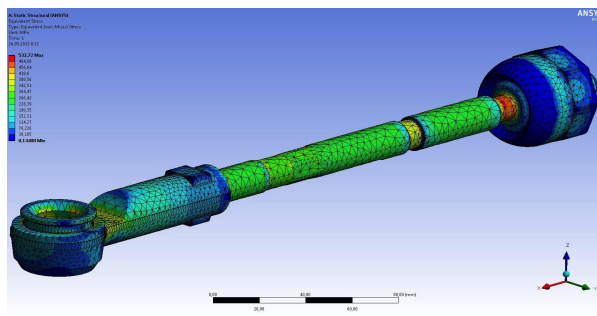


Рис.3. НДС при моделировании испытаний на сжатие рулевой тяги в сборе

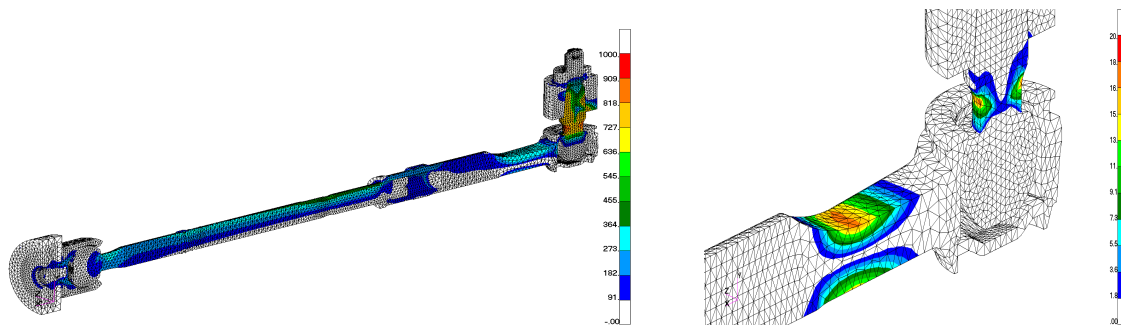


Рис.4. НДС при моделировании испытаний на устойчивость рулевых тяг в сборе

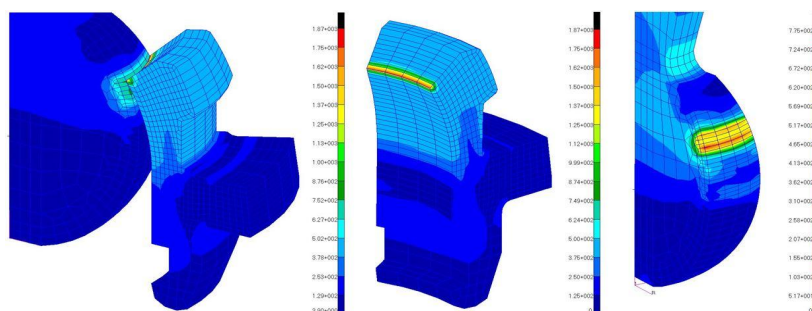


Рис.5. Результаты расчета напряженно-деформированного состояния шарового шарнира в момент максимального усилия при моделировании испытания на вырыв шарового пальца из корпуса

Разработанные методы и модели позволили провести сравнительный анализ различных конструктивных исполнений деталей шарниров передней подвески и рулевого управления и выбрать значения конструктивных параметров, обеспечивающие требуемые параметры качества при разработке новых конструкций шаровых шарниров А21R23&2904314/414, а также рулевых наконечников и тяг 7800-210-129/G129-3414056 и 7800-249-129/G129-3414054 для автомобилей «Газель-Next» [7].

Гармонизация требований российских и зарубежных стандартов на металлопрокат:

Разработка требований к металлопрокату проводилась по следующим направлениям:

- требования к исходному металлопрокату (химические свойства, механические свойства, микро- и макроструктура, обезуглероженный слой, точность геометрических размеров);

- требования к контролю и испытаниям металлопроката как исходного, так и отожженного (методики контроля и испытаний, совместимость российских и зарубежных методов).

Разработаны нормативные требования на поставку горячекатаного проката из стали марок 40X Селект, 41X1, 42X1M, представляющих собой полноценные аналоги среднеуглеродистых хромсодержащих сталей 5140H, 41CrS4, 42CrMoS4, используемых при производстве шаровых пальцев легковых автомобилей в странах Западной Европы и Северной Америки.

Реализация предложенных решений позволила разработать и внедрить технические соглашения между ЗАО НПО «БелМаг» (г. Магнитогорск), ОАО «ОЭМК» (г. Старый Оскол), ОАО «БелЗАН» (г. Белебей) на поставку горячекатаного проката из стали марок 40X Селект, 41X1, 42X1M. Прокат из стали марок 40X Селект, 41X1 был успешно использован при производстве шаровых пальцев по заказу компании TRW Automotive для поставок на заводы в Канаде и Чехии для изготовления шарниров автомобилей марок «Додж» и «Ауди». Прокат из стали марки 41X1 (патент РФ №2368672) также одобрен ОАО «АВТОВАЗ» и применяется в качестве исходного материала при производстве шаровых пальцев, используемых в качестве комплектующих изделий шаровых шарниров переднеприводных и полноприводных автомобилей, поставляемых ЗАО НПО «БелМаг» (г. Магнитогорск) на сборочный конвейер данного предприятия.

Заключение

Металлические изделия, применяемые в автомобильной промышленности, зачастую являются ключевыми компонентами, обуславливающими уровень качества товаров, производимых машиностроительными и автомобильными компаниями. Среди огромного перечня продуктов промышленного производства, изготавливаемых с применением металлических составных частей, особую роль играют шаровые шарниры, предназначенные для использования в качестве автомобильных компонентов. Формирование заданных потребительских свойств автокомпонентов во многом обеспечивается уровнем производства их металлических комплектующих изделий. Поэтому постановка и решение научно-технических задач по улучшению показателей качества данных изделий, разработке и совершенствованию технологий их производства обладают высокой степенью актуальности.

Все представленные результаты позволили организовать поставки на конвейеры ОАО «АВТОВАЗ», ЗАО «Джи-Эм АВТОВАЗ», ООО «Автомобильный завод «ГАЗ» шаровых шарниров новых конструкций с обеспечением требуемого уровня качества изделий и их стоимости.

Результаты работы закреплены в многочисленных публикациях, патентах на изобретения и свидетельствах на полезные модели.

Список литературы

1. Гун И.Г. Совершенствование технологической системы изготовления шаровых шарниров. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 360 с.
2. Комплексная оценка эффективности процессов производства шаровых пальцев / Гун И.Г., Рубин Г.Ш., Сальников В.В. и др. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. 134 с.
3. Квалиметрическая оценка производства автомобильного крепежа: монография / Д.М. Закиров, Г.Ш. Рубин, И.Ю. Мезин и др. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. 158 с.
4. Протипология – новый этап развития стандартизации метизного производства / Г.Ш. Рубин, М.А. Полякова, М.В. Чукин, Г.С. Гун // Сталь. №10, 2013. С. 84-87.
5. Управление качеством продукции в технологиях метизного производства: монография / А.Г. Корчун, М.В. Чукин, Г.С. Гун, М.А. Полякова. М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2012. 164 с.
6. Гун И.Г., Михайловский И.А., Осипов Д.С. Квалиметрическая оценка и повышение результативности сквозной технологии и системы менеджмента качества шаровых пальцев: монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. 147 с.
7. Улучшение качества автокомпонентов за счет совершенствования технологических процессов / Гун И.Г., Куцелендик В.И., Осипов Д.С., Сальников В.В., Гун Е.И., Пестерев Д.А., Смирнов Ал.В., Смирнов Ар.В. // Качество в производственных и социально-экономических системах: материалы междунар. науч.-техн. конф. / Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2013. С. 82-85.

THE DEVELOPMENT, MODELING AND IMPROVEMENT OF AUTOMOTIVE BALL JOINTS MANUFACTURING PROCESSES

Gun Igor Gennadievich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia E-mail: i-gun@yandex.ru.

Mikhailovskiy Igor Aleksandrovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: i-mikhailovsky@yandex.ru.

Osipov Dmitriy Sergeevich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: dmitry_osipov@mail.ru.

Kutsependik Vyacheslav Iosifovich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: kutsependik@mail.ru.

Salnikov Vitaliy Vladimirovich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: bestvit@bk.ru.

Gun Evgeniy Igorevich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia.

Smirnov Aleksey Vyacheslavovich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia.

Smirnov Artem Vyacheslavovich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia.

Abstract. In this article you can see the overview of scientific and technical problems and trends which were investigated during the processing improvement for manufacturing of front suspension and wheel systems ball joints as well as their components for Russian and foreign vehicles. You can see the main scientific and technical results which were achieved within those works. These results aimed to increase the process efficiency, invent new processes and improve the actual metal deforming processes such as cold forging, hot forging, sheet stamping of ball joints components. The following materials are presented in the article: the improvement results of the equipment and test methods of ball joints exploitation characteristics as well as qualimetric complex values of technological processes, quality systems etc.

Keywords: research, improvement, metal deforming by pressure, technological processes, ball joints, quality characteristics, modeling, tests, exploitation characteristics.

References

1. Gun I.G. *Sovershenstvovanie tehnologicheskoy sistemyi izgotovleniya sharovyih sharnirov* [Improvement of the technological systems manufacturing ball joints]. Moscow: Bauman MSTU Publishing House, 2000, 360 p.
2. Gun I.G., Rubin G.S., Salnikov V.V. et al. *Kompleksnaya otsenka effektivnosti protsessov proizvodstva sharovyih paltsev* [Comprehensive assessment of the effectiveness of ball joints production processes]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2008, 134 p.
3. Zakirov D.M., Rubin G.S., Mezin I.U. et al. *Kvalimetriceskaya otsenka proizvodstva avtomobilnogo krepzha: monografiya* [Qualimetric assessment by automobile fasteners: monograph]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2007, 158 p.
4. Rubin G.S., Polyakova M.A., Chukin M.V., Gun G.S. Prototyping – a new stage of development of standardization metalware production. *Stal' [Steel]*, 2013, no. 10, pp. 84-87.
5. Korchynov A.G., Chukin M.V., Gun G.S., Polyakova M.A. *Upravlenie kachestvom produktsii v tehnologiyah melznogo proizvodstva: monografiya* [Quality management in technology metalware production: monograph]. Moscow: Ores and metals Publishing House, 2012, 164 p.
6. Gun I.G., Mikhailovsky I.A., Osipov D.S. *Kvalimetriceskaya otsenka i povyshenie rezultativnosti skvoznoy tehnologii i sistemyi menedzhmenta kachestva sharovyih paltsev: monografiya* [Qualimetric assessment and enhanced efficiency through technology and quality management system production ball joints: monograph]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2008, 147 p.
7. Gun I.G., Kutsependik V.I., Osipov D.S., Salnikov V.V., Gun E.I., Pesterev D.A., Smirnov Al.V., Smirnov Ar.V. Improvement of the quality of automotive components by improving technological processes. *Kachestvo v proizvodstvennyih i sotsialno-ekonomicheskikh sistemah: materialyi mezhdunar. nauch.-tehn. konf.* [Quality in production and socioeconomic systems: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference]. South-West State University, Kursk, 2013, pp. 82-85.

От редакции

В Магнитогорском горно-металлургическом институте им. Г.И. Носова впервые 45 лет назад (еще в СССР) открыто новое направление и две кафедры для подготовки специалистов метизной отрасли. Магнитогорские метизники Аркулис Г.Э., Коковихин Ю.И., Белалов Х.Н., Стеблянко В.Л., Гун Г.С., Харитонов В.А., Голев В.Д., Чукин М.В., Манин В.П., Корчунов А.Г. и другие известны своими совместными эффективными научными разработками с предприятиями метизной отрасли.

В 1999 году впервые в МГТУ им. Г.И. Носова коллективом метизников получена государственная премия в области науки и техники (Стеблянко В.Л., Аркулис Г.Э., Рябков В.М., Люльчак В.И. и др.) за разработку нового способа получения биметаллической проволоки.

Наиболее ярким событием в деятельности научной школы метизников МГТУ им. Г.И. Носова является победа в конкурсе по Постановлению Правительства РФ от 9.04.2010 г. №218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских вузов и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства» проекта МГТУ и ОАО «ММК-МЕТИЗ» по созданию высокотехнологичного производства стальной арматуры для железобетонных шпал нового поколения на основе инновационной технологии термомодеформационного наноструктурирования» (научный руководитель – Чукин М.В.), объем финансирования – 178 млн руб.

В настоящее время развиваются деловые связи метизников со специалистами старейшего итальянского университета города Падуа (руководитель проекта – Корчунов А.Г.).

УДК 621.771

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ХОЛДНОДЕФОРМИРОВАННОЙ ЭВТЕКТОИДНОЙ СТАЛИ ПРИ МЕХАНОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Корчунов А.Г.¹, Терещенко Н.А.², Ефимова Ю.Ю.¹, Дабала М.³, Долгий Д.К.¹

¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

² Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

³ Департамент индустриальной инженерии Университета г. Падуа, Италия

Аннотация. Исследованы механические свойства холоднодеформированной арматуры диаметром 10,0 мм из эвтектоидной стали после патентирования и волочения в процессе кратковременного отпуска под натяжением. Изучены особенности изменения временного сопротивления разрыву σ_B , показателя $\sigma_B/\sigma_{0,2}$, относительного удлинения δ_{10} , твердости при вдавливания HIT , контактного модуля упругости E^* , стали в области температур обработки 250–400°C и значений усилия натяжения от 20 до 60 кН. Методом рентгеноструктурного анализа выполнена оценка напряженного состояния стали после обработки.

Ключевые слова: эвтектоидная сталь, механотермическая обработка, температура, натяжение, механические свойства.

Введение

Высокопрочная эвтектоидная сталь широко используется в технологиях производства арматуры для предварительно напряженных железобетонных конструкций ответственного назначения (перекрытия зданий, пролетные строения, опоры мостов, железобетонные сваи, опоры ЛЭП, железобетонные шпалы, мачты освещения, телебашни и др.). Отличительной особенностью арматуры является высокий уровень прочностных и пластических свойств, а также жесткие требования к специальным свойствам продукции.

Мировые тенденции в области достижения высокопрочного состояния стали характеризуются поиском эффективного сочетания технологических методов обработки различной физической природы с целью управляемого воздействия на микроструктуру материала [1–3].

В процессах производства высокопрочной арматуры широко применяют технологию холодного волочения патентированной эвтектоидной стали с высокими степенями деформации. В результате такой обработки холоднодеформированная сталь имеет фер-

ритно-цементитную структуру с межпластинчатым расстоянием 0,1–0,2 мкм, а толщина цементитных пластин составляет значение 200–400 Å. Такие размеры структурных составляющих стали относятся к наноструктурам и обеспечивают высокие значения прочностных свойств изделий [4]. Для обеспечения высоких значений усталостной и релаксационной стойкости арматуру дополнительно подвергают механотермической обработке (МТО) [5]. Наиболее прогрессивный вариант МТО предусматривает кратковременный отпуск холоднодеформированной стали с использованием тепла индукционного нагрева при температуре 250–420°C с одновременным приложением растягивающего усилия. При этом напряжения растяжения при обработке достигают значений 30–70% от значения временного сопротивления разрыву холоднодеформированной стали [6].

Несмотря на большое внимание, уделяемое в современной научной литературе особенностям МТО высокопрочной холоднодеформированной стали с использованием кратковременного индукционного отпуска [7–10], остаются недостаточно изученными

вопросы влияния технологических параметров обработки на изменение механических свойств арматуры, особенно с увеличением ее диаметра.

Цель настоящей работы заключается в исследовании влияния технологических параметров МТО на механические свойства высокопрочной холоднодеформированной арматуры диаметром 10,0 мм из эвтектоидной стали.

Материалы и методы исследования

В качестве исходного сырья использовалась катанка диаметром 15,5 мм из стали марки 80 с химическим составом, приведенным в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав стали марки 80, %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	V	B
0,80	0,29	0,62	0,010	0,0025	0,04	0,02	0,032	0,02	0,011	0,002

Патентирование катанки осуществляли по следующему режимам: температура нагрева в печи – 970°C; температура ванны расплава свинца – 550°C; скорость движения через агрегат патентирования – 4,8 м/мин. После патентирования катанку подвергали волочению на диаметр 10,0 мм с суммарной степенью деформации 58,5%. В ходе исследований механотермической обработки варьировались значения технологических факторов: усилие натяжения в пределах от 20000 до 60000 Н, температура индукционного нагрева – от 250 до 400°C. Скорость обработки составляла 50 м/мин. Механические испытания образцов проводили в соответствии с ГОСТ 12004.

В ходе исследований также определяли: твердость при вдавливании HIT , контактный модуль упругости E^* , а также общую механическую работу при вдавливании Wt и работу обратной упругой деформации, высвобождаемой при снятии измерительной нагрузки We . Указанные характеристики определяли при индентировании на измерительной системе Fischerscope HM 200 XUm с использованием индентора Виккерса и программного обеспечения WIN-HCU. Измерения проводили при максимальной нагрузке 2000 мН (200 г), время нагружения составляло 33 с при выдержке 5 с.

С целью оценки напряженного состояния стали после механотермической обработки использовали метод рентгеноструктурного анализа. Рентгеноструктурный анализ проводили на дифрактометре ДРОН-УМ1 в излучении железа с применением фильтра. Для рентгеноструктурного анализа выбрали линию (200) ОЦК решетки феррита. Съемка велась в шаговом режиме через угол 2θ , равный 0,02 град, при наборе импульсов в течение 10 с в интервалах углов 2θ от 83 до 87°. О наличии дефектов кристаллического строения в феррите судили по профилю линии (200). Форму рентгеновского максимума исследуемой стали оценивали по ширине линии B_{200} , измеренной на половине максимальной интенсивности. Величину остаточных напряжений в образцах стали определяли по смещению центра тяжести линии (200) феррита.

Образцы после МТО сравнивали с образцом стали после патентирования, в котором кристаллическая

решетка феррита обладала минимальной дефектностью, и с образцом после волочения со степенью деформации 58,5%, содержащим значительное количество дефектов кристаллического строения феррита.

Результаты исследования и их обсуждение

Графическая интерпретация результатов исследования влияния технологических параметров механотермической обработки на динамику изменения механических свойств стали представлена на рис. 1-3.

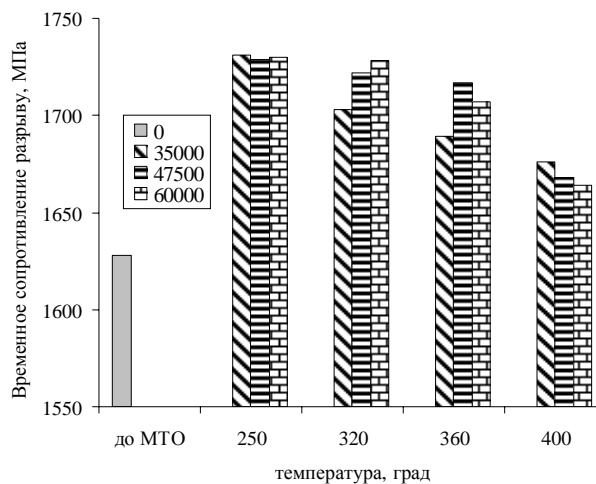


Рис. 1. Влияние параметров МТО на временное сопротивление разрыву стали

Относительно исходного холоднодеформированного состояния проволоки – заготовки для всех исследованных режимов МТО наблюдалось увеличение значений временного сопротивления разрыву и относительного удлинения стали, а также снижение показателя $\sigma_B / \sigma_{0,2}$. Наиболее существенную роль в динамике изменения механических свойств холоднодеформированной стали в процессе МТО играла температура обработки. Характерным являлось заметное (на 6,3%) увеличение значения временного сопротивления разрыву стали при нагреве до 250°C во всем диапазоне усилий натяжения (см. рис. 1).

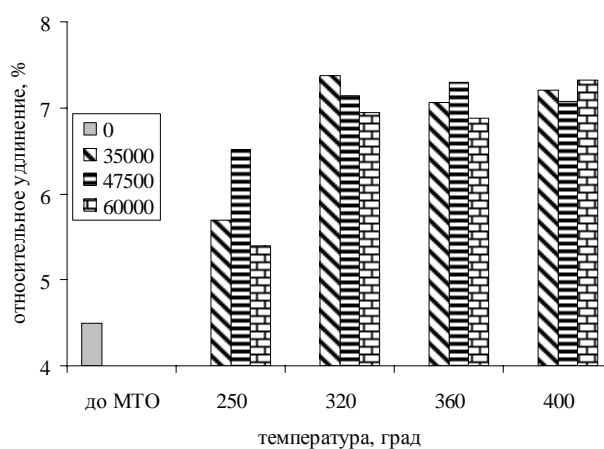


Рис. 2. Влияние параметров МТО на относительное удлинение стали после разрыва

Дальнейшее повышение температуры обработки до 400°C приводило к постепенному плавному (до 5%) снижению временного сопротивления разрыву относительно значений, наблюдавшихся при температуре 250°C.

Показатель пластичности стали δ_{10} имел тенденцию к росту с повышением температуры обработки. Рост показателя пластичности стали δ_{10} на 45-64 % был наиболее заметен в диапазоне температур 250-320°C с последующим менее интенсивным изменением в области более высоких температур (см. рис. 2).

Характеристика $\sigma_B/\sigma_{0,2}$ резко уменьшалась относительно исходного значения при температуре обработки 250°C с последующим равномерным увеличением в диапазоне температур 320-400°C при всех значениях усилия натяжения (см. рис. 3). При этом чувствительность данного показателя к технологическому воздействию увеличивалась при одновременном нарастании значений температуры обработки и усилия натяжения. В интервале значений 35000-60000 Н усилие натяжения практически не оказывало влияния на величину $\sigma_B/\sigma_{0,2}$ (см. рис. 3). Однако в диапазоне температур 320-400°C роль усилия натяжения становилась более выраженной.

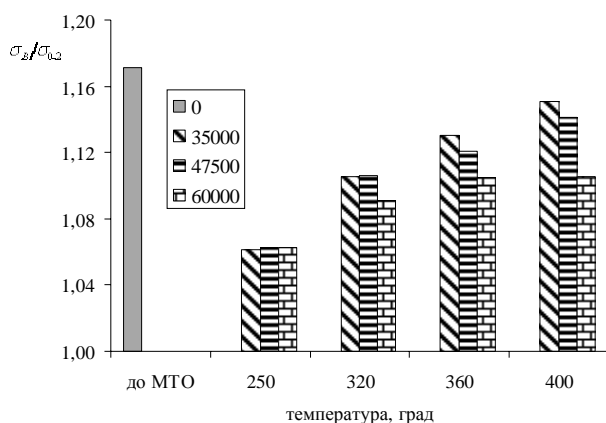


Рис. 3. Влияние параметров МТО на показатель $\sigma_B/\sigma_{0,2}$

В ходе обработки результатов исследований не было отмечено существенного влияния усилия натяжения на показатели временного сопротивления разрыву и относительного удлинения стали. В диапазоне температур 250-400°C изменение значений усилия натяжения с 35000 до 60000 Н определило максимальную разницу в значениях временного сопротивления разрыву стали не более 30 МПа, относительно удлинения не более 1,12 %.

Дифрактограммы образцов стали приведены на рис. 4, количественные значения ширины исследуемой линии феррита B_{200} и положения ее центра тяжести представлены в табл. 2. Рентгеновские максимумы (200) феррита исследуемых образцов имели форму асимметричных кривых и представляли собой дублет от излучений железа $K_{\alpha 1}$ и $K_{\alpha 2}$.

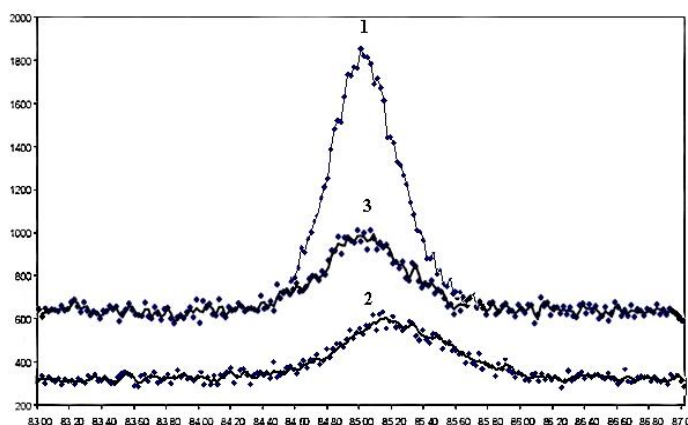


Рис. 4. Фрагменты дифрактограмм стали: 1 – после патентирования (линия (200) феррита высокая и узкая, $B_{200} = 0,227^\circ$); 2 – после волочения (линия (200) феррита низкая и широкая $B_{200} = 0,337^\circ$); 3 – после МТО по режиму 360°C / 47500 Н ($B_{200} = 0,288^\circ$)

Анализ дифрактограмм показал, что характер линии (200) феррита и положение центра тяжести рентгеновского максимума в стали после волочения и после патентирования существенно различаются. Экспериментальные данные рентгеноструктурного анализа образцов однозначно указывали на то, что форма рентгеновских максимумов и их положение в углах Вульфа–Брегга определялись температурно-силовыми параметрами МТО.

Таблица 2

Результаты рентгеноструктурного анализа (ширина линии феррита B_{200} /положение ее центра тяжести $2\theta^\circ$)

Температура, °C	Усилие натяжения, Н			
	20000	35000	47500	60000
320	-	-	0,332/85,06	-
360	0,279/85,08	0,279/85,00	0,288/85,00	0,330/84,94
400	0,257/85,08	-	0,283/84,96	0,355/84,94

Относительно изменения ширины линии (200) феррита можно высказать ряд соображений. В общем случае уширение рентгеновского максимума определяется микроискажениями кристаллической решетки и размером блоков когерентного рассеяния. Микроискажения или напряжения 2 рода связаны с неоднородностью упругой деформации кристаллической решетки и уравновешены в объеме отдельных кристаллитов или их частей. В исследуемой стали уширение линии (200) феррита определяется структурой перлита, напряженное состояние и механизм пластической деформации которого зависят от ориентации конкретной перлитной колонии относительно действующей нагрузки, большое влияние оказывает также и взаимодействие со смежными колониями перлита. После волочения ширина линии составляла $B_{200} = 0,337$ град. При повышении температуры с 320 до 400°C (при усилении 47500 Н) о снижении уровня

микронапряжений свидетельствовало изменение ширины линии с 0,332 до 0,283 град. Увеличение усилия натяжения, напротив, способствовало повышению уровня микроискажений и, как следствие, уширению линии. Значение B_{200} возрастало с 0,279 град до исходного (после волочения) состояния 0,330 град при изменении усилия натяжения с 20000 до 60000 Н при температуре нагрева 360°C. Можно предположить, что значительное влияние на уширение рентгеновской линии оказывают процессы деформационного старения в ферритной составляющей перлита, активизируемые с повышением усилия натяжения.

В табл. 3 приведены средние значения твердости при вдавливании НГТ, контактного модуля упругости E^* , общей механической работы при вдавливании W_t , работы обратной упругой деформации, высвобождаемой при снятии измерительной нагрузки W_e , а также значения уровня остаточных напряжений σ_{\perp} в образцах стали, определенные по смещению центра тяжести линии (200) феррита.

У исследуемых образцов, подвергнутых МТО по различным режимам, было обнаружено значительное различие в значениях контактного модуля упругости E^* . Известно, что модуль упругости является значимой характеристикой при оценке релаксационной стойкости стали. Высокие значения модуля упругости обуславливают значительные нагрузки, которые может выдерживать сталь без остаточной деформации. По результатам измерений наибольшим контактным модулем упругости обладала сталь после обработки по следующим режимам МТО: температура – 400°C, усилие натяжения – 47500 Н и 360°C – 47500 Н. Для этих же режимов было характерно минимальное различие между значениями этой характеристики, измеренными в центре образца и у поверхности ΔE^* (см. табл. 3). Этот факт свидетельствует о том, что напряженное состояние достаточно однородно по всей площади поперечного сечения стали после МТО.

В образцах стали, подвергнутых обработке при температуре 400°C и усилиях натяжения 20000 и 60000 Н, величина контактного модуля упругости была заметно ниже и составляла 146 и 160 ГПа соответственно, а различие значений между центром и поверхностью образца ΔE^* достигало 30%.

Величина контактного модуля упругости, измеренная при индентировании, была сопоставлена с уровнем остаточных напряжений, определенным по результатам рентгеноструктурного анализа (табл. 3). Данные, полученные двумя независимыми методами, согласуются и дополняют друг друга. Например, в образце стали, обработанной при температуре 400°C и усилии натяжения 20000 Н, наблюдался относительно высокий уровень остаточных напряжений ($\sigma_{\perp} = 380$ МПа), а модуль упругости имел минимальное значение. В стали, подвергнутой обработке при температуре 400°C и усилии натяжения 47500 Н, по данным рентгеноструктурного анализа отсутствовали остаточные напряжения ($\sigma_{\perp} = 0$), а для ферритной составляющей был характерен низкий уровень микроискажений ($B_{200} = 0,283$ град), значения модуля упругости демонстрировали максимальные значения при равномерном распределении по всей площади поперечного сечения образцов.

Заключение

Выполнены исследования изменения механических свойств высокопрочной холоднодеформированной арматуры диаметром 10,0 мм из эвтектоидной стали в процессе кратковременного индукционного отпуска под натяжением. В процессе исследования варьировалась температура отпуска в диапазоне 250-400°C и усилие натяжения от 20000 до 60 000 Н.

Анализ результатов исследования позволяет сделать следующие выводы:

– степень влияния технологических параметров МТО на механические свойства холоднодеформиро-

Таблица 3
Характеристики стали после МТО (приповерхностная/центральная зона образцов)

Режим МТО		НГТ, МПа	E^* , ГПа	W_t , мДж	W_e , мДж	ΔE^* , ГПа	σ_{\perp} , МПа
Температура, °C	Усилие натяжения, Н						
360	47500	5247/4900	199/190	2,92/3,02	0,60/0,60	-9	220
	20000	4521/4796	102/146	3,47/3,17	0,97/0,74	+42	380
400	47500	5075/5214	220/223	2,90/2,88	0,55/0,55	+3	0
	60000	4820/5182	125/160	3,22/2,99	0,84/0,71	+35	-260

* Примечание. Уровень остаточных напряжений в холоднодеформированной стали $\sigma_{\perp} = 1170$ МПа.

Из данных табл. 3 видно, что уровень остаточных напряжений во всех образцах после МТО ниже, чем в холоднодеформированной волочением стали. Значения величины σ_{\perp} в исследуемых образцах изменялись от +380 до -260 МПа. Это свидетельствует о том, что все исследуемые режимы способствовали релаксации напряжений, возникших в процессе волочения.

Величина твердости НГТ в образцах, подвергнутых МТО по различным режимам, находилась в интервале от 4521 до 5247 МПа. Наименьшей твердостью обладала сталь, подвергнутая МТО при самой высокой температуре 400°C и самом слабом усилии натяжения 20000 Н. При последовательном увеличении усилия натяжения до 47500-60000 Н величина твердости возрастала, что объясняется развитием процессов дисперсионного твердения. В ходе испытаний не была установлена корреляция между величиной твердости исследуемых образцов и шириной линии (200) феррита. Уровень твердости стали после исследуемых режимов МТО определялся в основном состоянием карбидной фазы. Различие между значениями НГТ, измеренными в центре и периферийной зоне образцов, составляло 7-10%.

ванной стали неодинакова. Более существенное влияние на динамику изменения механических свойств холоднодеформированной стали в процессе МТО оказывает температура обработки. Роль усилия натяжения становится более выраженной в области температур 360–400°C при значениях 47500–60 000 Н;

– относительно исходного состояния стали после патентирования и волочения со степенью деформации 58,5 % ($\sigma_B=1630$ МПа, $\delta_{10}=4,5\%$) для всех исследованных режимов МТО характерно увеличение значений временного сопротивления разрыву и относительного удлинения стали, а также снижение показателя $\sigma_B/\sigma_{0,2}$. Наиболее заметным является увеличение значения временного сопротивления разрыву стали при нагреве до 250°C на 6,3% во всем диапазоне усилий натяжения. Дальнейшее повышение температуры обработки до 400°C приводит к постепенному плавному (до 5%) снижению временного сопротивления разрыву относительно максимальных значений, наблюдавшихся в исследованиях. Рост показателя пластичности стали δ_{10} на 45–64% находится в диапазоне температур 250–320°C с последующим менее интенсивным изменением в области более высоких температур. Характеристика $\sigma_B/\sigma_{0,2}$ резко уменьшается относительно исходного значения при температуре обработки 250°C с последующим равномерным увеличением в диапазоне температур 320–400°C при всех значениях усилия натяжения;

– наибольшим контактным модулем упругости,

величиной твердости обладает сталь после обработки при температуре 400°C и усилии натяжения 47500 Н. По данным рентгеноструктурного анализа, в стали после МТО по данному режиму отсутствуют остаточные напряжения.

Полученные результаты использованы при реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства высокопрочной стальной арматуры для железобетонных шпал высокоскоростных магистралей, выполняемого с участием российского высшего учебного заведения (договор 13.G25.31.0061).

Список литературы

- Langdon Terence G. Acta Materialia, 2013, vol. 61, no. 19, pp. 7035-7059.
- Han K., Edmonds D., Smith G. Metallurgical and materials transaction, A, 2001, no. 32(A), pp. 1113-1324.
- Валиев Р.З., Александров И.В. Объемные наноструктурные металлические материалы: получение, структура и свойства. М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. 398 с.
- Счастливец В.М., Мирзаев Д.А., Яковлева И.Л. Перлит в углеродистых сталях. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 312 с.
- Стальная проволока / Белалов Х.Н., Клековкин А.А., Клековкина Н.А., Гун Г.С., Корчунов А.Г., Полякова М.А. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорского государственного технического университета, 2011. 689 с.
- Лебедев В.Н., Корчунов А.Г., Чукин М.В. Производство стабилизированной арматуры для железобетонных шпал нового поколения // Металлург. 2011. №1. С. 75-78.
- Долгий Д.К., Барышников М.П. Моделирование процесса стабилизации высокопрочной холоднодеформированной арматуры // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. №2. С. 43-45.
- Zeren A., Zeren M. Journal of Materials Processing Technology, 2003, no. 141, pp. 86-95.
- Tomota Y., Lukas P., Neov D., Hario S. Acta Materialia, 2003, no. 51, pp. 805-815.
- Caballero L., Atenza J., Elices M. Metals and material international. 2011, vol. 17, no. 6, pp. 899-910.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

FEATURES OF CHANGES IN MECHANICAL PROPERTIES OF COLD-WORKED EUTECTOID STEEL IN MECHANOTHERMAL PROCESSING

Korchunov Alexey Georgievitch – D.Sc. (Eng.), Professor, Vice-Rector for International Affairs, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8 (3519) 29-84-09. E-mail: international@magtu.ru.

Tereshchenko Natalia Adolfovna – Ph.D. (Eng), Senior Researcher, Laboratory of Physical Metallurgy, Institute of Metal Physics, Ekaterinburg, Russia.

Efimova Yuliya Yuryevna – Ph.D. (Eng), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia.

Dabala Manuele – Professor, Department of Industrial Engineering, University of Padova, Italy.

Dolgij Dmitriy Konstantinovich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia.

Abstract. The mechanical properties of cold-worked reinforcement with 10.0 mm diameter of eutectoid steel after patenting and drawing in the short tempering under tension have been investigated. The features of changes for tensile strength σ_V , $\sigma_V/\sigma_{0,2}$ indicator, extension strain δ_{10} , indentation hardness HIT, contact elastic modulus E^* , steel in the processing temperature range 250–400°C and tensile force values from 20 to 60 kN were studied. The stress state of steel after treatment was estimated with X-ray diffraction analysis.

Keywords: eutectoid steel, mechanical-thermal processing, temperature, tension, mechanical properties.

References

- Langdon Terence G. Acta Materialia, 2013, vol. 61, no. 19, pp. 7035-7059.
- Han K., Edmonds D., Smith G. Metallurgical and materials transaction, A, 2001, no. 32(A), pp. 1113-1324.
- Valiyev R.Z., Aleksandrov I.V. *Ob'emnyye nanostrukturnyye metallicheskie materialy: poluchenie, struktura i svoystva* [Bulk nanostructured metallic materials: preparation, structure and properties.]. M.: ICC «Akademkniga», 2007, 398 p.
- Schastlivtsev V.M., Mirzayev D.A., Yakovleva I.L. *Perlit v uglerodistykh stalyakh*. [Pearlite in carbon steels]. Yekaterinburg: Uro RAS, 2006, 312 p.
- Belalov K.H.N., Klekovkin A.A., Klekovkina N.A., Gun G.S., Korchunov A.G., Polyakova M.A. *Stalnaya provoloka*. [Steel wire]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2011, 689 p.
- Lebedev V.N., Korchunov A.G., Chukin M.V. *Proizvodstvo stabilizirovannoy armatury dlya zhelezobetonnykh shpal novogo pokoleniya*. Metallurg. 2011, no. 1, pp. 75-78.
- Dolgij D.K., Baryshnikov M.P. *Modelirovaniye protsessy stabilizatsii vysokoprochnoy kholodnodeformirovannoy armatury*. [Simulation of cold stabilization process high valve]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2012, no. 2, pp. 43-45.
- Zeren A., Zeren M. Journal of Materials Processing Technology, 2003, no. 141, pp. 86-95.
- Tomota Y., Lukas P., Neov D., Hario S. Acta Materialia. 2003, no. 51, pp. 805-815.
- Caballero L., Atenza J., Elices M. Metals and material international. 2011, vol. 17, no. 6, pp. 899-910.

От редакции

Одним из новых направлений, развиваемых в МГТУ им Г.И. Носова в рамках научной школы «Разработка и развитие теории квалиметрии и управления качеством продукции и производственных процессов», является создание научных подходов по адаптивному управлению качеством, направленных на формирование теоретических положений и построение различных моделей, реализующих методы оперативного технологического воздействия на показатели качества металлопродукции в процессе ее изготовления.

Исследования проводят в тесной кооперации с ведущими специалистами и учеными ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» – техническим директором Г.В. Щуровым, начальником ЦПК, д-ром техн. наук С.В. Денисовым, руководителем проекта «Группа по технической поддержке клиентов», д-ром техн. наук Г.А. Куницыным, начальником НТЦ, канд. техн. наук Б.А. Сарычевым и др. Благодаря развитию данного научного направления удалось в кратчайшие сроки и с максимальной эффективностью освоить на комбинате уникальные технологии производства инновационных и «эксклюзивных» видов металлопродукции, обладающей глубокой степенью переработки, как, например, холоднокатаной ленты для изготовления монет, холодногнутых профилей для мостостроения из сталей повышенной прочности и др. Кроме того, освоены новые для отечественного прокатного производства процессы, реализуемые в условиях комплекса холодной прокатки (ЛПЦ №11) ОАО «ММК», такие как лазерная сварка при укрупнении рулонов в головных частях агрегатов и совмещение процессов травления и холодной прокатки в единую технологическую линию.

УДК 669.771

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ*

Голубчик Э.М.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

Аннотация. Дальнейшее развитие современного высокотехнологичного производства неразрывно связано с установлением баланса интересов потребителей и возможности производителей. В наибольшей степени это актуально при разработке и продвижении на рынки сбыта инновационных видов продукции, обладающей высокой добавленной стоимостью, особенно при её изготовлении в условиях крупных промышленных предприятий, например металлургической отрасли. При этом возникает необходимость оперативного реагирования на поступающие со стороны потребителя запросы, не всегда согласующиеся с технологическими возможностями производителя, либо выходящие за рамки требований известных стандартов на соответствующую продукцию, т.е. требуется определенная двухсторонняя адаптация системы «производитель-потребитель». С другой стороны, для удержания рыночных позиций в условиях жесткой конкуренции предприятие-производитель обязано учитывать не только существующие потребности рынка в традиционной продукции, но и прогнозировать вектор своего развития для изготовления перспективной металлопродукции. В статье рассмотрены теоретические аспекты адаптивного управления качеством металлопродукции. Предложена концепция адаптивного управления показателями качества на основе принципов их оперативной «технологической адаптации» в условиях многовариантных технологических систем.

Ключевые слова: многовариантная технологическая система, адаптация, показатели качества, металлопродукция

Введение

Современные рыночные отношения представляют собой сложный комплекс взаимодействий производителей и потребителей. Своевременная реакция производителя на постоянно изменяющиеся условия рынка – залог его успешного и устойчивого развития. Одним из ключевых факторов, определяющих конкурентоспособность предприятия, является возможность производителя поддерживать баланс собственных и потребительских интересов. Этого можно достигнуть за счет использования конкурентных преимуществ – значительного накопленного опыта производства, внедрения новых инновационных технологических и/или технических решений, а также путем поддержания высокого качества эксклюзивной про-

дукции. В связи с этим возникает необходимость разработки эффективной стратегии построения технологических процессов на крупном предприятии с использованием новейших концепций организации производства. Одной из таких концепций может служить применение принципов «технологической адаптации».

В условиях массового производства с большим объемом размерно-марочного сортамента продукции, единым технологическим циклом и непрерывной загрузкой основного технологического оборудования возникает необходимость оперативного прогнозирования конечных результатов деятельности всей технологической системы, причем уже на ранних стадиях жизненного цикла продукции. Поставленная задача особенно актуальна для многостадийных технологических систем. Очевидно, что подобные системы для обеспечения требуемого уровня качества сложных, либо новых видов продукции, конкурентоспособности и повышения результативности их производства должны иметь возможность оперативной адаптации к

* Работа проведена в рамках программы стратегического развития университета на 2012-2016 гг. (конкурсная поддержка Минобрнауки РФ программ стратегического развития ГОУ ВПО).

требованиям потребителей и изменениям рынка. При этом должны быть минимизированы затраты, связанные как с «повседневным» функционированием технологического процесса, так и с освоением инновационной, либо «эксклюзивной» продукции.

В настоящее время все большее развитие получает ситуация, когда показатели качества выпускаемой высокорентабельной металлопродукции например металлопродукции обладающей глубокой степенью переработки (МГСП), нормируются не только и не столько нормативными документами-стандартами, но также и дополнительными требованиями потребителей. При этом, зачастую, такие требования либо не всегда сочетаются с положениями стандартов, либо являются труднодостижимыми в процессе производства и переработки конечного изделия (холоднокатаной ленты, гнутого профиля, металлопроката с покрытиями и т.д.). Это диктует необходимость проведения оперативного анализа возможностей производства, поиска новых путей конструирования эффективных технологических схем изготовления такой продукции и, соответственно, разработки и активного внедрения новых концепций и подходов с применением адапционных моделей технологического воздействия. В связи с этим возникает актуальная проблема разработки методологии адаптивного управления показателями качества металлопродукции в сложных многовариантных многостадийных технологических системах (ММТС).

В ФГБОУ ВПО «МГТУ им Г.И. Носова» в рамках развиваемого направления в области качества разрабатываются новые научные подходы по адаптивному управлению качеством, направленные на формирование теоретических положений и построение различных моделей, реализующих методы оперативного технологического воздействия на показатели качества металлопродукции в процессе ее изготовления [1-6].

Теория, материалы и методы исследования, технические и технологические разработки

Разработка методологии адаптивного управления показателями качества металлопродукции применительно к сложным ММТС предусматривает проведение теоретических исследований по нескольким направлениям. Одним из них является анализ существующего тезауруса в области технологического управления качеством продукции, что, в свою очередь, подразумевает разработку соответствующего понятийного аппарата.

Практически все современные технологии изготовления сложной металлопродукции (в частности, МГСП) подразумевают технологическую многостадийность и/или многовариантность производственного процесса изготовления конкретного вида продукции. Следует отметить, что в научно-технической литературе в настоящее время отсутствует однозначно определенный понятийный аппарат в данном направлении. Зачастую подобного рода процессы для упрощения сводятся к понятиям «сложная» технологическая система, многоуровневая иерархическая система и т.д. Непосредственно термин «многостадий-

ность» применительно к технологическим процессам рассматривается как набор одностадийных операций, имеющих жестко фиксированные связи. При этом сам процесс производства может быть организован по принципу последовательности операций, их параллельности или иных комбинаций. Другой трактовкой рассматриваемого понятия «многостадийность» является представление двух или более технологий в виде единого образования, представляющего собой их интегративную комбинацию, существенно упрощающую общую структуру технологической системы, что исключает возможность оперативного управления показателями качества на отдельно взятой стадии обработки. С точки зрения системного подхода, достаточно интересным можно считать описание многостадийной системы в виде совокупности комплексов применяемых ресурсов и связей между ними. При этом целью функционирования такой системы является параллельно-последовательное пошаговое преобразование определенных входных ресурсов в соответствующие наборы выходных ресурсов [7, 8].

Аналогичная ситуация характерна и для термина «многовариантная система», который достаточно активно используется в теории принятия решений, в экономической литературе, а также при описании и построении систем автоматического регулирования [9, 10]. В работе [11] любой технологический процесс на предприятии рассматривается с позиции многовариантности. Непосредственно под понятием «вариант технологии» предусматривается многозвенный набор операций. При этом предполагается, что два многозвенных технологических процесса могут относиться к разным вариантам, если они различаются хотя бы одним звеном. Причем под многовариантностью технологических процессов понимается одновременное существование нескольких технологических процессов, способных обеспечить решение поставленной задачи. При таком подходе исключается варьирование технологической обработки в рамках отдельно взятой операции («звена»), что существенно снижает возможности управления показателями качества в выбранном варианте технологической системы.

Представленные примеры существующих подходов к понятию многостадийной, либо многовариантной технологической системы не позволяют эффективно организовать в оперативном режиме управление процедурой формирования заданного уровня качества при изготовлении конкретного вида металлопродукции и определять стратегию конструирования таких процессов, особенно при разработке инновационной технологии.

В рамках разработанной концепции «технологической адаптации» показателей качества предлагается трактовка термина «многостадийной технологической системы» как системы, реализующей изменение начального состояния множества показателей качества в конечное состояние путем многократного технологического воздействия на данной, отдельно взятой стадии жизненного цикла продукции. При этом одностадийная технологическая система подразумевает однократность технологического воздействия на

изменение показателей качества в данной стадии обработки. В этом случае понятия «операция» и «стадия» становятся тождественными. Таким образом, в рассматриваемом случае критерием классификации технологических систем на одно-многостадийные выступает кратность технологического воздействия, приводящая к любому изменению состояния системы показателей качества данного вида продукции в процессе его изготовления. При этом каждое изменение значения показателя качества при отдельно взятом технологическом воздействии будет рассматриваться как отдельная стадия процесса.

Под термином «многовариантная технологическая система» предполагается техническая (технологическая) система, в которой реализуется возможность обеспечения конечного уровня показателей качества за счет применения множества вариантов технологического воздействия на каждый из них (либо группу показателей качества в целом) на каждой стадии жизненного цикла продукции. Таким образом, под вариантом понимается совокупное технологическое воздействие, предусматривающее постадийное изменение показателя качества (и/или системы показателей качества) продукции, приводящее к достижению нормируемого его конечного значения.

Понятие «технологическая адаптация» показателей качества (ПК) применительно к рассматриваемым системам (ММТС) подразумевает процесс целенаправленного изменения технологической системы в соответствии с определенными критериями приспособления ее структуры и функций к условиям внешней среды, обеспечивающими достижение целей системы – соответствующий уровень ПК, ожидания потребителей, гармонизацию нормативной базы и пр. (рис. 1).



Рис. 1. К понятию «технологическая адаптация» ПК

Достаточно часто при взаимодействии «заказчик-производитель» возникает ситуация, когда технико-технологические возможности последнего не в полной мере могут быть реализованы в пожелания потребителя. Это может быть связано и тем, что пожелания

потребителя не всегда четко осознаны и /или четко сформулированы, при этом зачастую потребителем высказывается лишь желательный характер в части уровня свойств (качеств) продукции или диапазона свойств. Кроме того, в последнее время наблюдается тенденция, когда отсутствует корреляция между требованиями (пожеланиями) потребителей к ПК и нормами стандартов на эти показатели.

Традиционная процедура работы крупных и средних предприятий металлургической отрасли с потребителями на стадии принятия (рассмотрения) заказа (заявки) на выпуск какой-либо продукции заключается в оперативной оценке технической и технологической возможностях предприятия гарантированно обеспечить выполнения всех требований в части ПК.

При этом достаточно часто при отсутствии возможности выполнения (или даже сомнения о возможности исполнения) требований по отдельному ПК, поступивший запрос отклоняется без анализа ресурсов к перспективности его принятия в дальнейшем. Идеальным вариантом взаимодействия «производитель-потребитель» является ситуация, когда на предприятии может быть принят к исполнению практически любой поступивший заказ или запрос потребителя или, как минимум, большинство из них.

Для реализации такой концепции работы с потребителем на основе описанного выше понятийного аппарата в части многостадийности, многовариантности технологических систем, а также с учетом базовых принципиальных постулатов теории систем в ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова» была разработана 2-уровневая двухконтурная система адаптивного управления качеством (САУК) металлопродукции в условиях ММТС, позволяющая максимально учитывать и использовать возможные ресурсы производителя (рис. 2) [12].

Следует подчеркнуть, что применение этой модели адаптивного управления целесообразно и необходимо в случаях, когда либо отсутствует технико-технологическая возможность производства в полном объеме, либо невозможно явным образом обеспечить 100% выполнение требований потребителя по достижению запрашиваемого необходимого уровня качества (см. рис. 1), т.е. когда необходима «технологическая адаптация» ПК.

Результаты исследования и их обсуждение

Разработанная САУК металлопродукции включает в себя два уровня.

Первый уровень управления, который называется *подготовительным*, предполагает формирование и накопление технологической базы

данных обо всех возможных (вероятных или освоенных) в условиях предприятия технологических маршрутах ($\sum_{j=1}^k TM_j$) для каждого вида продукции Π_m с фиксированием достигаемого уровня показателей каче-

ства ($\sum_{i=1}^n TK_i$), либо их диапазона изменчивости в зависимости от: варианта технологической схемы производства (T_j); влияния человеческого фактора (ЧФ), например, уровня квалификации персонала; экономических составляющих технологического процесса (Ξ), например объем заказа, нормы расхода материалов, необходимость дополнительных расходов на инструмент, оснастку и т.д.; организационных схем производства (ОП) и прочих аспектов, входящих в данную ММТС.

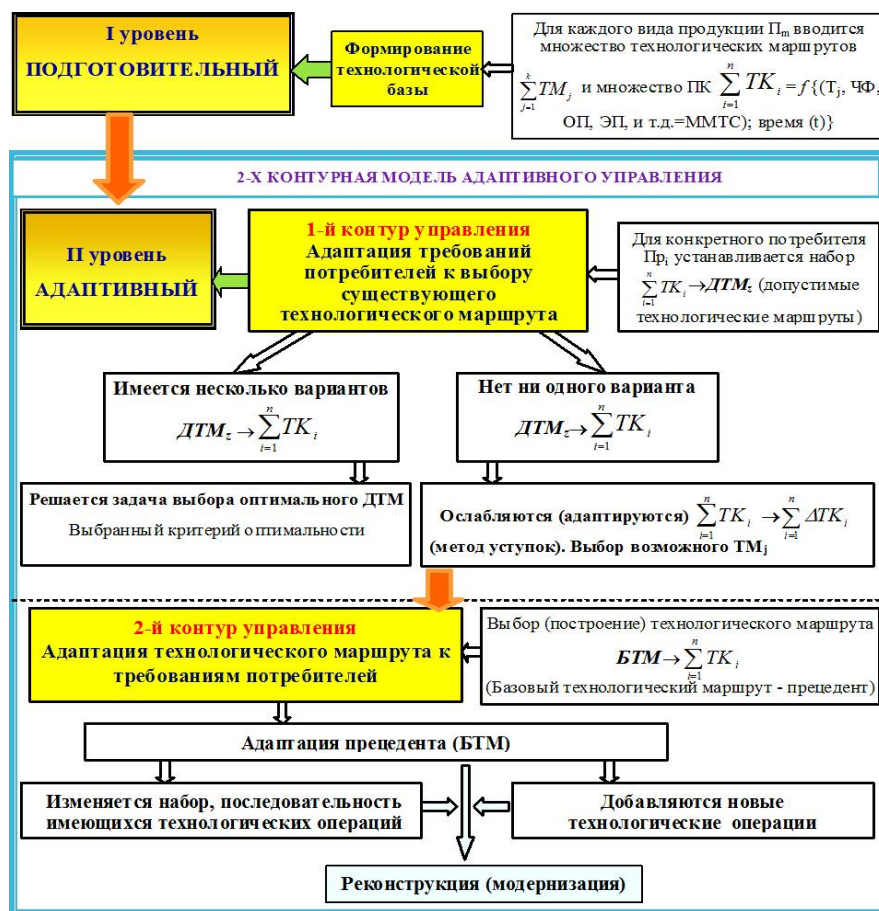


Рис. 2. Разработанная двухуровневая 2-контурная система адаптивного управления качеством (САУК) металлопродукции в ММТС

Наличие данного уровня в системе обязательно, так как от его наполнения зависит, во-первых, оперативность принятия решения о возможности выполнения заказа; во-вторых, выявляются потенциальные ограничения, накладываемые технологической системой, например на диапазоны варьирования свойств (ПК); в-третьих, существенно упрощается работа лица, принимающего решение (ЛПР) по организации технологического процесса. Так как в общем случае необходимо предполагать, что ЛПР может не обладать соответствующей компетенцией по всем аспектам планируемого производства для выполнения конкретного поступившего заказа в части обеспечения нормируемых ПК.

В случае, когда ни один из имеющихся в технологической базе вариантов не позволяет обеспечить производство металлопродукции с требуемым уровнем ПК по каким-либо причинам, то осуществляется переход на второй уровень САУК, называемый *адаптивным*, на котором реализуется 2-контурная модель адаптивного управления ПК в ММТС.

При этом первым контуром управления является «Адаптация требований потребителей к выбору существующего технологического маршрута». Для конкретного потребителя (группы потребителей) Pr_i определяется и устанавливается комплекс нормируемых потребителем показателей

качества ($\sum_{i=1}^n TK_i$, n – количество ПК)

и оценивается набор вероятных допустимых технологических маршрутов (DTM_z), которые в наибольшей степени могут реализовать достижение требуемого или близкого к нему уровня качества. При этом каждый DTM_z , предусматривающий совокупность определенных стадий обработки на имеющемся в условиях предприятия технологическом оборудовании, представляет собой отдельный вариант ММТС.

В случае если имеется несколько вариантов, реализующих условие: $DTM_z \rightarrow \sum_{i=1}^n TK_i$,

то выбирается (определяется) критерий оптимальности и решается задача выбора оптимального DTM_z известными методами оптимизации. При условии отсутствия возможности определить (сопоставить) хотя бы один вариант DTM_z в исследуемой САУК, на первом контуре включается механизм адаптации, предусматривающий коррекцию показателей качества

($\sum_{i=1}^n TK_i$). При этом реализация адаптивного управления качеством на этой стадии предусматривает ослабление части требований со стороны потребителя по ПК путем, например, изменения границ варьирования отдельных (или всех) показателей качества, перевод нормируемых значений показателей в статус их факультативности и т.д. Другими словами, производитель приспособливает потребителя к имеющейся технологии и «просит» последнего смягчить требования по границам ПК. После чего в оперативном порядке формируется скорректированный и согласованный с потребителем комплекс ПК нового уровня

$(\sum_{i=1}^n \Delta TK_i)$. Таким образом, методом уступок со стороны потребителя производится адаптация ПК к наиболее близкому DTM_z или имеющемуся в технологической базе TM_j для реализации условия: $DTM_z(TM_j) \rightarrow \sum_{i=1}^n \Delta TK_i$.

В случае невозможности «смягчения» или нежелания потребителя идти на уступки производителю, осуществляется переход на второй контур адаптивного управления рассматриваемой САУК, который представляет из себя «Адаптацию технологического маршрута к требованиям потребителя». Из имеющейся технологической базы выбирается технологический маршрут TM_j или определяется DTM_z , который в наиболее близкой степени может обеспечить нормируемый потребителем уровень качества. Данный TM_j (DTM_z) получает статус базового (или «прецедента») БТМ. Таким образом, на втором контуре управления САУК принятый в качестве прецедента базовый технологический маршрут (БТМ) адаптируется под конечные требования потребителя. При этом осуществляется настройка каждой стадии технологического воздействия на обеспечение максимального возможного уровня качества по всем показателям, либо одного из наиболее значимых для потребителя (остальные показатели «подстраиваются»). Причем допускается изменение «традиционного» набора технологических воздействий (операций), а также их последовательности, принятой в «базовом варианте». Кроме того, возможно появление новых несуществующих в прецеденте воздействий (операций). Это относится и к соответствующим элементам оборудования, реализующих технологическое воздействие, вплоть до реконструкции и модернизации отдельных стадий и даже производств.

В случае абсолютной невозможности производства металлопродукции с запрашиваемым набором качеств (с учетом использования всех адаптационных механизмов, охватываемых САУК) потребителю даются рекомендации (разъяснения) по уровню максимально возможных достигаемых параметров в условиях данного производства. Здесь следует подчеркнуть, что данный элемент работы с потребителем обязателен, как один из значимых в адаптивном управлении качеством на предприятии. Его зачастую неправомерно игнорируют, несмотря на то, что бывают ситуации, когда, например, в условиях крупного металлургического предприятия освоена или возможна к освоению передовая технология изготовления нового инновационного вида металлопродукции с уникальным комплексом свойств высокого уровня. При этом потребитель, пришедший на данное предприятие с заказом на аналогичную продукцию, но с повышенным, по отношению к возможному, уровнем свойств, не всегда осознает целесообразность, необходимость

и оправданность наличия в конечном металлоизделии желаемого диапазона параметров. В этом случае становится приемлемым применение принципов адаптации потребителя как носителя внешней среды к возможностям производителя.

Особенностью такого подхода является попытка предприятия, даже при первоначально кажущемся явном отсутствии возможности изготовления инновационной металлопродукции, проанализировать свои ресурсы и максимально использовать технологические резервы, которые, как показывает практика, не всегда используются эффективно.

Выводы. Разработанный подход адаптивного управления показателями качества в условиях многовариантных процессов позволил разработать применительно к ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» ряд высоко эффективных технологий производства инновационной конкурентоспособной металлопродукции: холоднокатаной ленты толщиной 1,16-1,84 мм для монетных заготовок для чеканки разменных монет РФ, новых видов гнутых профилей для мостостроения, гарантированно обеспечивающих нормируемый уровень показателей качества.

Список литературы

1. Голубчик Э.М. Применение адаптационных принципов при построении технологических процессов изготовления металлопродукции // XIV International scientific conference «New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering». A collective monograph edited by prof. dr hab inz. Henrek Dyja, dr hab. inz. Anna Kawalek, prof. PCz. Chapter 1. Series: Monografie Nr 24.Polish. Czestochowa, 2013. С. 81-87.
2. Повышение результативности производства холоднокатаной упаковочной ленты из стали марки 30Г2 путем применения адаптационных механизмов / Голубчик Э.М., Яковлева Е.Б., Телегин В.Е., Смирнов П.Н., Яшин В.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. №1. С. 62-66.
3. Исследование способов повышения результативности функционирования многостадийных технологических систем / Телегин В.Е., Голубчик Э.М., Курбан В.В., Васильев И.С., Горшков С.Н. // Сталь. 2012. №7. С. 51-54.
4. Применение адаптационных механизмов для повышения качества продукции с глубокой степенью переработки / Голубчик Э.М., Корчунов А.Г., Пивоварова К.Г. Лысенин А.В. // Вестник Воронежского гос. техн. ун-та. 2011. №5. С. 131-134.
5. Протипология – новый этап развития стандартизации метизного производства / Рубин Г.С., Полякова М.А., Чукин М.Г., Гун Г.С. // Сталь. 2013. №10. С. 84-86.
6. Gun G.S., Rubin G.Sh., Chukin M.V., Gun I.G., Mezin I.U., Korchunov A.G. Metallurgy qualimetry theory design and development // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2013. №5. P. 67-70.
7. Месарович М., Мако Д., Такахага И. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 1973. 344 с.
8. Балдин К.В., Воробьев С.Н., Уткин В.Б. Управленческие решения: учебник. 2-е изд. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2006. 496 с.
9. Емельянова С.В., Иванова Т.В., Киселева Т.В. Исследование организационных механизмов автоматизированных систем управления // Теория активных систем: труды междунар. науч.-практ. конференции / общ. ред. В.Н. Бурков, Д.А. Новиков. М.: ИПУ РАН, 2001. Т.2. С. 81-83.
10. Орлов А.И. Теория принятия решений: учеб. пособие. М.: Изд-во «Экзамен», 2005. 656 с.
11. Бычков И.В. Многовариантность технологических процессов и корректная постановка задач формообразования // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. 2010. №48. С. 45-50.
12. Голубчик Э.М. Адаптивные подходы к управлению качеством продукции в многовариантных технологических системах // Методы менеджмента качества. 2013. №7. С. 36-41.

ADAPTIVE CONTROL OF METAL PRODUCTS QUALITY

Golubchik Eduard Mikhailovich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: golub66@mail.ru.

Abstract. Further development of modern high-technology production goes hand in hand with the establishment of a balance between the interests of consumers and producers. Most of this is relevant when developing and promoting innovative products with high added value to markets, especially if production is under conditions of large industrial plants, for example, the steel industry. This causes the need for a rapid response to requests by the user, but requests are not always consistent with the technological possibilities, or are beyond the known standard requirements for products, which require a certain amount of mutual adaptation of «producer-customer». On the other hand, to keep the market position in the highly competitive manufacturer must take into account not only the market needs in traditional products, but also to anticipate their development vector to produce advanced metal products. The article considers the theoretical aspects of the Adaptive control of metal products quality. The concept of adaptive management of quality indicators on the basis of the principles of operational «technological adaptation» in terms of multivarious technological systems is suggested.

Keywords: multivarious technological systems, adaptation, quality indicators, metal products.

References

- Golubchik E.M. Primenenie adaptacionnyh principov pri postroenii tehnologicheskikh processov izgotovleniâ metalloprodukcii [Application of adaptation of principles in building of technological processes of manufacture metal products]. *XIV International scientific conference «New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering»*. A collective monograph edited by Prof. dr HAB. inz. Henrek Dyja, dr HAB. inz. Anna Kawalek, Prof. PCZ. Chapter 1. Series: Monografie Nr 24. Polish. Czestochowa, 2013, pp. 81-87.
- Golubchik E.M., Yakovleva E.B., Telegin V.E., Smirnov P.N., Yashin V.V. Povyshenie rezul'tativnosti proizvodstva holodnokatanoj upakovchnoj lenty iz stali marki 30G2 putem primeneniya adaptacionnyh mehanizmov [Enhancing the impact of the production of cold rolled steel packing tape brand 30G2 by applying adaptive mechanisms]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2010, no. 1, pp. 62-66.
- Telegin V.E., Golubchik E.M., Vasiliev I.S., Gorshkov S.N. Issledovanie sposobov povycheniâ rezul'tativnosti funkcionirovaniâ mnogostadijnyh tehnologicheskikh system [Can improve the performance of Study of multi-stage technological systems]. *Stal'* [Steel], 2012, no. 7, pp. 51-54.
- Golubchik E.M., Korchunov A.G., Pivovarova K.G., Lysenin A.V. Primenenie adaptacionnyh mehanizmov dlya povysheniya kachestva produkcii s glubokoj stepen'yu pererabotki [Application of adaptive mechanisms to increase product quality with a deep level of processing]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2011, no. 5, pp. 131-134.
- Rubin, G.S., Polyakova M.A., Chukin M.G., Gun G.S. Protipologiya – novyj etap razvitiya standartizacii metiznogo proizvodstva. [Protipologia – a new stage of development of the standardization for the hardware production]. *Stal'* [Steel], 2013, no. 10, pp. 84-86.
- Gun G.S., Rubin G.Sh., Chukin M.V., Gun I.G., Mezin I.U., Korchunov A.G. Metallurgy qualimetry theory design and development. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2013, no. 5, pp. 67-70.
- Mesarovich M., Mako D., Takahara I. *Teoriya ierarhicheskikh mnogourovnevnyh system*. [Theory of hierarchical multi-level systems]. Moscow: Mir, 1973, 344 p.
- Baldin K.V., Vorobev S.N., Ulkin V.B. *Upravlencheskie resheniya* [Management decisions: a tutorial]. 2-nd Edition. Moscow: publishing trading Corporation «Dashkov and co», 2006, 496 p.
- Emelyanova S.V., Ivanova T.V., Kiselyova T.V. Issledovanie organizacionnyh mehanizmov avtomatizirovannyh sistem upravleniya [Study of institutional mechanisms of automatic control systems]. *Teoriya aktivnyh system: Trudy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii v dvuh tomah* [Active System Theory / Proceedings of international scientific-practical Conference in two volumes]. (19-21 November 2001, Moscow, Russia). General revision: V. Burkov, Dmitry Novikov. Moscow: ISP RAS, 2001, vol. 2, pp. 81-83.
- Orlov A.I. *Teoriya prinyatiya reshenij. Uchebnoe posobie* [Of decision theory. Tutorial]. Moscow: publishing trading «Exam», 2005. 656 p.
- Bachkov I.V. Mnogovariantnost' tehnologicheskikh processov i korektnaâ postanovka zadach formoobrazovaniya [The diversity of technological processes and correct problem shaping]. *Otkrytye informacionnye i komputernye integrirrovannye tehnologii* [Open information and computer integrated technologies]. 2010, no. 48, pp. 45-50.
- Golubchik E.M. Adaptivnye podhody k upravleniû kachestvom produkcii v mnogovariantnyh tehnologicheskikh sistemah [Adaptive approaches to quality management of products in multiple technology systems]. *Metody menedzmenta kachestva* [Quality management Methods]. 2013, no. 7, pp. 36-41.

От редакции

В МГТУ им. Г.И. Носова разработан комплекс технических, технологических и организационных решений для управления качеством продукции и повышения результативности сортопрокатных технологических систем на основе применения и развития инструментов управления качеством и адаптивных структурно-матричных математических моделей.

Авторами предложена концепция, охватывающая вопросы результативного взаимодействия органов власти, сектора реальной экономики и системы профессиональной подготовки кадров.

Результаты, полученные авторами и представленные в статье, основаны на обмене опытом с зарубежными коллегами в рамках совместной программы с образовательными и научно-производственными учреждениями и организациями Азии и Африки и многолетней работе в сфере обучения, повышения квалификации и профессиональной переподготовки кадров для предприятий горно-металлургической отрасли России на базе Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова.

УДК 339.92: 377.44

КОНЦЕПЦИЯ МЕЖДУНАРОДНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО СОТРУДНИЧЕСТВА СТРАН БРИКС: РАЗВИТИЕ ИНЖИНИРИНГА И ИННОВАЦИЙ В МЕТАЛЛУРГИИ

Чукин М.В.¹, Тулупов О.Н.¹, Кульков И.В.², Моллер А.Б.¹

¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

² Центр ЮНИДО, Россия

Аннотация. Данная статья посвящена международному взаимодействию в металлургической отрасли как одному из приоритетных промышленных кластеров экономического развития стран БРИКС, который является основополагающим сектором формируемой Технологической платформы БРИКС. Статья подготовлена по **Концепции международного промышленного сотрудничества стран БРИКС в области металлургии**, разработанной Магнитогорским государственным техническим университетом совместно с Международным Союзом МЕТАЛЛУРГМАШ и Международным научным мостом по теме БРИКС в развитие Проекта ЮНИДО «Технологическое и инновационное партнёрство между странами БРИКС для развития среднего бизнеса».

Приведен пример применения инновационной технологии относительно высокоуглеродистой стали марки 80, легированной бором. Возможность формирования наноразмерных структурных составляющих. При специальном виде термической и деформационной обработки межзеренное расстояние уменьшается и позволяет дальше деформировать металл в холодном состоянии. Полученные результаты эффективно используются для достижения желаемых свойств высокопрочных арматурных стержней из 9,6 мм в диаметре для нового поколения железобетонных шпал.

Постоянное стремление к повышению гибкости и экономической эффективности производства делает очевидным поиск новых способов контроля и улучшения качества продукции, компетенций персонала и технологических факторов. Эффективность работы металлургического предприятия зависит от уровня квалификации персонала. Персонал является главным ресурсом в системе менеджмента качества, поскольку факторы, создающие условия для обеспечения качества, в первую очередь не технические, а социальные. Поэтому высшему руководству организаций, ориентированных на долговременное функционирование, необходимо заботиться о воспроизводстве интеллектуального потенциала человеческих ресурсов своей компании.

Адаптивные программы подготовки кадров для пусковых объектов в России и других странах для металлургической отрасли стали одним из наиболее успешных проектов МГТУ им. Г.И.Носова под эгидой Международного Союза «Металлургмаш» и «МЕТАЛЛУРГМАШ Инжиниринг».

Ключевые слова: промышленный кластер, технологическая платформа БРИКС, инновационное партнёрство, кадровый потенциал, международные программы подготовки специалистов.

Основной целью международного проекта БРИКС является создание условий реализации эффективного сотрудничества и существенного усиления экономического и технологического потенциала стран-участниц БРИКС (группа из пяти быстроразвивающихся стран: Бразилия, Россия, Индия, Китай, Южно-Африканская Республика) [1]. Этот проект направлен на развитие и укрепление финансовой и социальной стабильности через взаимную справедливую экономическую интеграцию, создание оптимальных условий для эффективного развития, сотрудничества и реализации технологического потенциала в базовых индустриальных отраслях, особенно в металлургии,

так как она является одним из приоритетных промышленных кластеров развития экономики всех стран и особенно стран БРИКС, которые обеспечивают становление и развитие различных секторов экономики.

Российские металлурги имеют богатый опыт международного сотрудничества в металлургическом секторе, в том числе по становлению металлургии в Китае, Индии (Бхилаи), в Африке (Аджеокута) и успешно ведут технологическое сотрудничество на современном металлургическом рынке.

Необходимо отметить, что система оценки, подходы и принципы, использованные при создании проекта концепции в области металлургии, должны быть уни-

версальны и применимы к другим базовым отраслям [2].

Основные направления сотрудничества в рамках данной концепции это:

- технические и технологические направления сотрудничества;
- сотрудничество в сфере науки и инноваций;
- организационные формы сотрудничества;
- профессиональная подготовка, переподготовка и повышение квалификации кадров в области металлургии;
- экономическая составляющая сотрудничества.

Примером осуществления наукоемких подходов, уже реализованных и пригодных к диверсификации и распространению, является проект производства наноструктурной арматуры от 9 мм диаметром для предварительно напряженных железобетонных конструкций (строительство портовых терминалов, высотных зданий, железнодорожных шпал для скоростных железных дорог и других объектов инфраструктуры).

Данная технология наноструктурирования позволяет сочетать в арматуре высокие характеристики прочности и пластические свойства углеродистых сталей. Этот продукт уже используется для укрепления нового поколения железобетонных шпал для высокоскоростных и тяжело нагруженных магистралей [3].

Основные конкурентные преимущества наноструктурированной арматуры – это более высокое качество продукции при снижении затрат на производство. Кроме этого она позволяет довести экономию металла в шпалах до 20% и при этом увеличить скорость движения до 350 км/ч и пропускную способность железнодорожного пути, а следовательно, рост грузооборота в 1,7 раза на тяжело нагруженных магистралах. Новая арматура обеспечит долговечность шпал (до 70 лет) и гарантирует высокую эксплуатационную надежность, что приведет к увеличению межремонтного периода и снижению затрат на техническое обслуживание железнодорожных путей и, следовательно, железных дорог в целом.

Развитие техники и технологии невозможно без опережающего развития кадрового потенциала. Для этого в сфере подготовки кадров необходимо обеспечить определенные условия.

Необходима разработка системы (комплекса) современных критериев подготовки специалистов для предприятий горно-добывающего, металлургического и машиностроительного комплексов и обеспечение координации между университетами, производителями, научными учреждениями в вопросах подготовки инженеров и техников в новых условиях.

Это также даст возможность формировать и реализовывать международные программы подготовки и повышения квалификации для металлургического машиностроения и металлургии, включая подготовку высококвалифицированных инженерных, технических и управленческих кадров и создать новые специализированные гибкие программы [4].

Поэтому для организации эффективной системы обучения и повышения квалификации специалистов, техников и рабочих на уровне международных стандартов для предприятий горно-металлургического ком-

плекса и машиностроения необходимо создание специального Центра, обладающего университетской базой и имеющего отраслевой и межрегиональный статус.

Примером такого сотрудничества могут служить международные программы подготовки и повышения квалификации кадров для новых технологических линий по производству стали и проката, реализованные Международным Союзом «МЕТАЛЛУРГМАШ» совместно с членами Союза – МГТУ им. Г.И. Носова (Россия) и компанией Danieli (Италия).

Во всех странах БРИКС имеются проблемы подготовки инженерных кадров, которые требуют первоочередного рассмотрения. Среди них согласованность действий системы образования и предпринимательского сообщества и высокий уровень технического и методологического обеспечения учебных заведений. В сложившейся ситуации система по подготовке и переподготовке кадров для горно-металлургической отрасли должна выступить в качестве ключевого партнера федеральных и региональных органов государственного управления, а также крупных бизнес-структур в процессе реализации политики социально-экономического и индустриального развития региона.

Целью деятельности Центра намечено создание системы постоянной скоординированной, гибкой и адаптивной профессиональной подготовки и переподготовки кадров для горно-металлургической отрасли и машиностроения.

Основными задачами должны стать: разработка, согласование и аккредитация учебных планов и программ профессиональной переподготовки, организация и проведение повышения квалификации кадров, разработка профессиональных и квалификационных стандартов, а также консультационная и экспертная деятельность по вопросам организации и совершенствования учебного процесса [5].

Организационно-правовой формой Центра может являться международное некоммерческое партнерство, определенное учредителями от всех участников БРИКС и ЮНИДО.

В первую очередь необходимо создание единой информационной системы, обеспечивающей популяризацию мероприятий по реализации сотрудничества стран БРИКС в области металлургии на основе:

- взаимного размещения актуальных сведений в средствах массовой информации;
- публикации результатов исследований в научно-технических и производственных журналах и изданиях;
- создание единого информационного портала.

В этом плане очень эффективным должна стать одна из многоплановых международных инициатив ЮНИДО по созданию Технологической платформы на базе Единого информационного портала в рамках реализации Проекта ЮНИДО /БРИКС.

Примером активности в этом направлении является развитие связей МГТУ им. Г.И. Носова с университетами Стелленбоша и Порт-Элизабет (ЮАР) и Технологическим университетом Мумбаи (Индия) при поддержке некоммерческих организаций Международный Союз «МЕТАЛЛУРГМАШ» (Россия),

Международный научный мост (ЮАР), а также компании «МЕТАЛЛУРГМАШ Инжиниринг».

Во-вторых, требуется работа по гармонизации стандартов и унификации системы сертификации на металлоизделия, выпускаемые в странах БРИКС, предполагающая приведение их содержания в соответствие с другими стандартами для обеспечения взаимозаменяемости продукции (услуг), взаимного понимания результатов испытаний и информации, содержащейся в стандартах.

Гармонизация стандартов будет иметь важнейшее значение для обеспечения взаимовыгодного обмена товарами (услугами), заключения соглашений по сертификации, развития и углубления сотрудничества в области металлургии и совместного решения научно-технических проблем, повышения качества и конкурентоспособности продукции на внешних рынках, оптимизации материальных затрат и энергопотребления, а также повышения эффективности мер по обеспечению безопасности труда и защите окружающей среды.

Экономическая составляющая сотрудничества предполагает реализацию двух основных мероприятий:

1. Разработка и реализация совместных фундаментальных и прикладных программ, поддерживаемых странами БРИКС.

2. Формирование технологического кластера, реализующего производственный потенциал стран БРИКС в области металлургии, под которым понимается группа географически соседствующих взаимосвязанных компаний и связанных с ними организаций, действующих в определенной сфере, характеризующихся общностью деятельности и взаимодополняющих друг друга (см. рисунок).

Практика развития кластеров в разных странах показывает, что они:

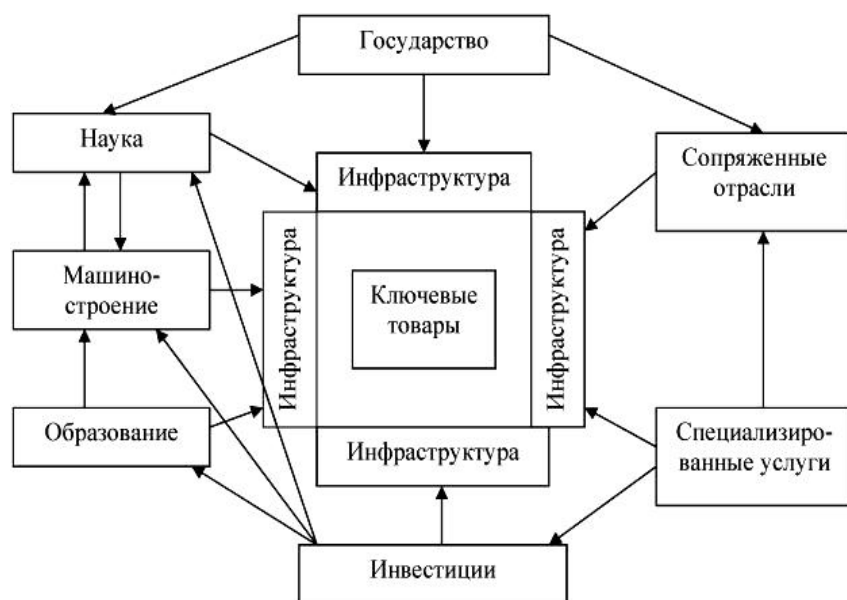
– во-первых, обеспечивают более эффективный доступ к требуемым ресурсам и специализированным факторам производства (новому оборудованию и технологиям, квалифицированному персоналу, развитой инфраструктуре, включая подготовку кадров и проведение НИОКР, и т.д.);

– во-вторых, кластеры облегчают движение информационных потоков внутри кластера и накапливают специализированную информацию (знания), доступ к которой лучше организован и требует меньших издержек;

– в-третьих, внутри себя кластеры обеспечивают взаимодополняемость различных видов деятельности (по удовлетворению покупательского спроса, маркетингу, закупкам), повышая тем самым качество и эффективность работы.

Разработка подобного кластера для столь глобального объединения, как БРИКС, несомненно, требует приложения усилий и специалистов от всех заинтересованных сторон и может реализовываться на базе Единого Специализированного Центра БРИКС по подготовке и переподготовке кадров для отрасли, который, очевидно, объединит в себе лучшие силы, способные системно разработать структуру и документальную основу кластера, учитывающего интересы всех участников на всех уровнях экономического и политического сотрудничества.

Опыт формирования подобных кластеров, объединяющих как предприятия, производящие оборудование, инжиниринговые компании, так и научные организации, разрабатывающие современные технологии в металлургии и машиностроении, у российских организаций уже имеется [6].



Принципиальная структура экономического кластера

Список литературы

1. Кульков И.В. Паритеты БРИКС // ЮНИДО в России. 2012. №8. С. 55-59.
2. Чукин М.В., Тулупов О.Н., Кульков И.В. Перспективы международного промышленного сотрудничества стран БРИКС в области металлургии // ЮНИДО в России. 2013. №9. С. 36-41.
3. Nanodimensional structural part formation in high carbon steel by thermal and deformation processing / M.V. Chukin, A.G. Korchunov, G.S. Gun, M.A. Polyakova, N.V. Koptseva // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2013. №5(45). С. 33-35.
4. Повышение точности прокатки сортовых профилей простой и фасонной форм / Тулупов О.Н., Моллер А.Б., Кинзин Д.И., Левандовский С.А., Новицкий Р.В., Рычков С.С. // Металлургические процессы и оборудование. 2013. №4(34). С. 99-105.
5. Вузы в формировании инновационной экономики / В.М. Колокольцев, С.И. Платов, С.И. Лукьянов, Е.М. Разинкина, А.Б. Моллер // Черные металлы. 2011. Спец. выпуск. С. 5-9.
6. Technological reserves: reasonable implementation of simple solutions to improve hot rolling technology / A.N. Lutsenko A.N., M.I. Romyantsev, O.N. Tulupov, A.B. Moller, R.V. Novitskiy // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2013. №5(45). P. 70-74.

STRATEGIC VISION OF INTERNATIONAL INDUSTRIAL COLLABORATION OF THE BRICS: THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING AND INNOVATIONS IN STEEL INDUSTRY

Chukin Mihail Vitalevich – D.Sc. (Eng.), Professor, First Vice-Rector-Vice Rector for Science and Innovation, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: m.chukin@mail.ru.

Tulupov Oleg Nikolaevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Industry expert of engineering branch in public union «Business Russia», President of «METALLURGMASH Engineering», Laureate of the Russian Federation Government in science and technology. E-mail: o.tulupov@mail.ru.

Kulkov Igor Viktorovich – Regional Expert of UNIDO, Russia.

Moller Alexander Borisovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: moller@hotmail.ru.

Abstract. This article focuses on metallurgy, one of the main BRICS industrial clusters of economic development, which is a part of the BRICS Technological platform. The article describes the **Concept of International Industrial BRICS Collaboration in metallurgy** developed by Nosov Magnitogorsk State Technical University together with the International Union METALLURGMASH and the International Scientific bridge relating the development of BRICS UNIDO Project «Technological and innovative partnership between the BRICS countries for the development of medium-sized businesses».

On the example of high carbon steel of grade 80, updated by boron, the ability of forming nanodimensional structural constituents has been proved. Special types of thermal and deformation processing are used. It is experimentally proved that interlamellar spacing decreasing takes place in steel, being investigated after heat treatment and further cold plastic deformation. The rate of interlamellar spacing, after heat treatment, and cold plastic deformation is 1,66, the rate of billet geometrical dimensions, before and after deformation, is 1,6. The results obtained are used to achieve desired properties of high-tensile reinforcing bars of 9,6 mm in diameter for the new generation of concrete sleepers.

Constant push forward for more flexible and cost-effective production makes it obvious to search for better ways to control and improve product quality, personnel competence, and technological factors. Work effectiveness of metallurgical enterprise depends on personnel qualification level. The main resource in the quality management system as social factors in particular not technical ones provide better quality. Thus, it's necessary for the high management executives to take care

about the reproduction of intellectual potential if they are oriented on long functioning.

Adaptive training programs for employees at startup facilities in Russia and other countries for metallurgical industry have become one of the most successful NMSTU together with International Union «METALLURGMASH» and «METALLURGMASH Engineering».

Keywords: industrial cluster, BRICS technological platform, innovative partnership, human resources, international training programs.

References

1. Kulkov I.V. BRICS parities. *YuNIDO v Rossii* [UNIDO in Russia]. 2012, no. 8, pp. 55-59.
2. Chukin M.V., Tulupov O.N., Kulkov I.V. Prospects for international industrial BRICS cooperation in metallurgy. *YuNIDO v Rossii* [UNIDO in Russia]. 2013, no. 9, pp. 36-41.
3. Chukin M.V., Korchunov A.G., Gun G.S., Polyakova M.A., Koptseva N.V. Nanodimensional structural part formation in high carbon steel by thermal and deformation processing. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2013, no. 5(45), pp. 33-35.
4. Tulupov O.N., Moller A.B., Kinzin D.I., Levandovskiy S.A., Novitskiy R.V., Rychkov S.S. Improving rolling precision of simple and structural section shape. *Metallurgicheskie processy i oborudovanie* [Metallurgical processes and equipment]. 2013, no. 4(34), pp. 99-105.
5. Kolokoltsev V.M., Platov S.I., Lukyanov S.I., Razinkina E.M., Moller A.B. Universities in the formation of an innovative economy. *Chernye metally* [Non-ferrous metals]. 2011, Special Issue, pp. 5-9.
6. Lutsenko A.N., Romyantsev M.I., Tulupov O.N., Moller A.B., Novitskiy R.V. Technological reserves: reasonable implementation of simple solutions to improve hot rolling technology. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2013, no. 5 (45), pp. 70-74.

От редакции

Научно-исследовательский центр «Микротопография» МГТУ им. Г.И. Носова, организованный в 1982 году профессором Беловым В.К., обладает современным оборудованием по измерению микротопографии поверхности: интерференционный микроскоп Contour GT K1 (фирма Bruker, США), контактный профилометр Map-Surf XR20 with XT20 (Mahr, Германия), комплект оборудования для определения физико-механических свойств материалов UMT – 1 Bruker (США) и другие измерительные устройства. НИЦ «Микротопография» МГТУ выполняет работы в рамках договоров о научном сотрудничестве с: ОАО «ММК», г. Магнитогорск; ФГУП ЦНИИЧЕРМЕТ им. И.П. Бардина, г. Москва; ЗАО научно-производственная фирма «УРАН», г. Санкт-Петербург; Всероссийским научно-исследовательским институтом метрологической службы (ФГУП «ВНИИМС»), г. Москва; Компанией «Квейкер Кемикал Б.В.» (QUAKER CHEMICAL B.V., г. Уйтхоорн, Нидерланды); ОАО «АВТОВАЗ», г. Тольятти, и другими организациями.

Эти работы в последнее время связаны с разработкой технологий производства автолиста с регламентированной микротопографией поверхности, разработкой технологий и режимов обработки поверхности рабочих валков.

Основные темы работ НИЦ «Микротопография» МГТУ: исследование фрактальных структур металлических поверхностей при одноосном растяжении в очаге и вне очага деформации; использование 3D критериев для регламентации микротопографии поверхности автолиста; использование вейвлет технологии для обнаружения единичных дефектов на металлической поверхности; разработка технологий производства продукции и автолиста с регламентированной микротопографией поверхности; разработка, оценка и регламентирование оптимальных параметров топографии поверхности деталей силового агрегата и трансмиссии автомобилей.

УДК 621.771.016.3; 621.771.014-416

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 3D ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТИ В ИНЖЕНЕРНОМ ДЕЛЕ

Белов В.К.¹, Беглецов Д.О.¹, Губарев Е.В.¹, Денисов С.В.², Дьякова М.В.¹, Смирнов К.В.²

¹ НИЦ «Микротопография», Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

² Магнитогорский металлургический комбинат, Россия

Аннотация. Переход с 2D параметров на 3D параметры текстуры позволит более точно описывать характеристики микротопографии поверхности, а также получать совершенно новые важные эксплуатационные параметры поверхности продукции металлургической промышленности. Использование микротопографического описания поверхности оказывается весьма эффективным для исследований и разработки технологий производства продукции с регламентированной микротопографией поверхности.

Ключевые слова: микротопография поверхности, 3D текстура, автолист, покрытия листа.

В настоящее время в области микротопографических измерений осуществляется переход от 2D измерений к 3D измерениям, то есть переход от характеристики поверхности с помощью профилей к топографическим объёмным характеристикам поверхности [1,2].

С одной стороны, это обусловлено инновационными разработками, которые экономически целесообразны [2-8]. Укажем области производств, где, по нашему мнению, целесообразны микротопографические исследования, где регламентация заданных микротопографических характеристик даёт большие экономические эффекты при последующих технологических переделах.

Области промышленности, где экономически целесообразны микротопографические исследования

Прокатное производство (производство тонкого листа для штамповки, для глубокой вытяжки, для нанесения покрытий, для нанесения покрытий электрохимическими технологиями).

Автомобильная промышленность (разработка технологии выпуска автолиста с регламентированной

микротопографией поверхности для штамповки кузовов и других деталей автомобиля).

Метизное производство (производство проволоки для электроламп и ламп электронной промышленности, для микродрозелей и т.д.).

Штамповочное производство (производство продукции технологиями высокой вытяжки, способами термомеханической обработки, производство продукции с высокими требованиями к геометрическим параметрам изделия, например фар автомобиля, и т.д.).

Машиностроение (производство деталей для узлов трения с заданной равновесной микротопографией (например, поршневые кольца, блоки цилиндров, шаровые опоры для автомобилей, тормозные колодки, вентили для газовых и жидкостных сред и т.д.).

Производства, использующие технологии покрытий (производство поверхностей под покрытия, обеспечивающее высокую адгезионную способность (сцепляемость) и низкое потребление материала покрытий, производство матовых и блестящих поверхностей и т.д.).

С другой стороны, ведущие фирмы Taylor Hobson, Bruker, Hommel Werke, Mahr, Mitutoyo и другие выпускают разнообразный ряд современных автоматизированных комплексов (правда, пока достаточно дорогих) для измерения 3D критериев микротопографии поверхности.

Более того, разработаны современные стандарты по 3D характеристикам поверхности и по 3D технологиям выделения отдельных компонент поверхности (ASME B46.1-2009 (США); ISO 25178-2-2012; ISO 12780-2011, ISO 16610-2006 (Европа); JIS B 0601-2010 (Япония) и т.д.).

Современная масштабная градация топографических характеристик поверхности

Особенности описания топографии поверхности и современных методов цифровой обработки сигналов начинаются с процесса определения масштабных характеристик поверхности. В настоящее время существуют четыре градации: наноперformance, поверхность шероховатости, поверхность волнистости, поверхность формы. Из исходной измеренной поверхности они выделяются с помощью стандартизованных фильтров. На рис. 1 показаны стандартные коэффициенты пропускания фильтров (фильтры Гаусса) для выделения профилей таких поверхностей. Темными линиями отмечен коэффициент пропускания фильтра K_r для выделения профиля шероховатости, пунктирными – фильтра для выделения профиля волнистости K_w .

Здесь λ_s – коротковолновая граница фильтра профиля шероховатости;

λ_c – длинноволновая граница фильтра профиля шероховатости;

λ_{sw} – коротковолновая граница фильтра профиля волнистости;

λ_{cw} – длинноволновая граница фильтра профиля волнистости.

По величине λ_c и λ_{sw} совпадают, но они описывают совершенно различные по назначению фильтры. Так, например, в случае Гауссовского фильтра профиля шероховатости (рис. 1, а) левая часть графика описывается зависимостью

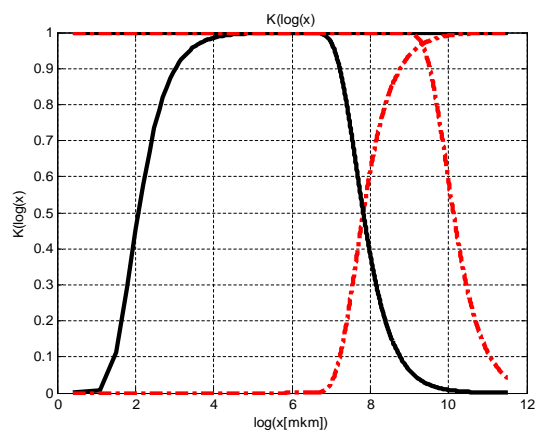
$$K_s(x) = 1 - \exp\left(-\ln(2) \left[\frac{\lambda_s}{x}\right]^2\right), \quad (1)$$

а правая часть графика

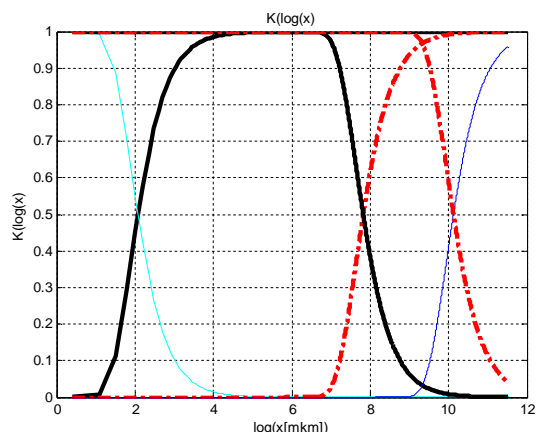
$$K_s(x) = \exp\left(-\ln(2) \left[\frac{\lambda_c}{x}\right]^2\right). \quad (2)$$

Аналогичными соотношениями описывается коэффициент пропускания фильтра профиля волнистости, который получается заменой в формулах (1) и (2) λ_s на λ_{sw} и λ_c на λ_{cw} .

Аналогичные границы, разделяющие шероховатость и волнистость на рис. 1, а, можно образовать и слева, и справа для разделения нанопрофиля и шероховатости и для разделения волнистости и профиля формы.



а



б

Рис. 1. Коэффициенты пропускания фильтра Гаусса: а – профиля шероховатости и профиля волнистости; б – нанопрофиля, профиля шероховатости, профиля волнистости и профиля формы; $\lambda_s = 8$ мкм; $\lambda_c = 2500$ мкм; $\lambda_f = 25000$ мкм, шаг дискретизации $d = 1.5$ мкм

Причём, это можно сделать без привлечения новых определений границ и формул, подобных (1) и (2). Так, граница, разделяющая нанопрофиль и шероховатость, может определяться коэффициентом K_{ns}

$$K_{ns}(x) = \exp\left(-\ln(2) \left[\frac{\lambda_s}{x}\right]^2\right), \quad (3)$$

а граница, разделяющая волнистость и профиль формы, – коэффициентом K_{fc}

$$K_{fc}(x) = 1 - \exp\left(-\ln(2) \left[\frac{\lambda_{cw}}{x}\right]^2\right). \quad (4)$$

На рис. 1, б дополнительно изображены коэффициенты пропускания фильтров, которые уже разделяют четыре профиля: нанопрофиль, профиль шероховатости, профиль волнистости и профиль формы.

Таким образом, современные стандарты позволяют с помощью фильтрации из нефильтрированного

профиля (P) выделять четыре профиля: профиль шероховатости (R), профиль волнистости (W), нанопрофиль и профиль формы.

Ситуация с переходом на регламентацию шероховатости поверхности с помощью 3D параметров радикально изменилась. Буквально 10-20 лет назад старались для фильтрации шероховатой поверхности использовать аналоги 2D фильтров, конструируя из них объёмные фигуры (рис. 2), сейчас происходит совершенно другой процесс. Приоритетом являются различные 3D способы обработки изображений, и происходит их транскрипция на 2D представление. Так получилось, что некоторые цифровые способы обработки изображений существенно отличны от способов обработки одномерных сигналов. Поэтому современная классификация 3D фильтров (линейные, морфологические, робастные) переносится на 2D фильтры. Но назначение этих фильтров неизменно – выделить из нефильрованной исходной поверхности четыре типа поверхности: поверхность шероховатости, поверхность волнистости, наноперверхность и поверхность формы.

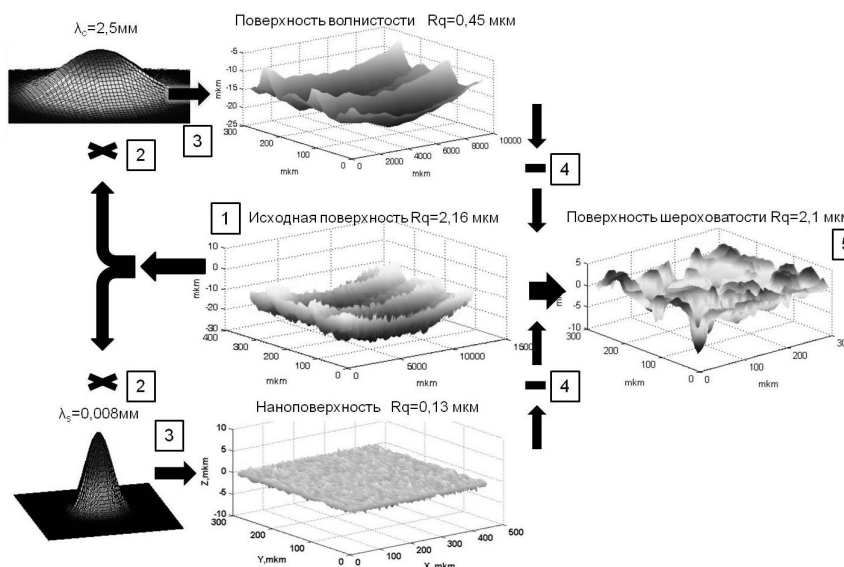


Рис. 2. Схемы 3D фильтрации

Функциональные и точечные 2D и 3D характеристики профилей и поверхностей

Нижеприведённая таблица (табл. 1) специально сформирована таким образом, чтобы были видны точечные и функциональные 3D характеристики шероховатой поверхности, которые имеют 2D аналоги и которые не имеют 2D аналогов.

Таблица 1

Функциональные и точечные 2D и 3D характеристики профилей и поверхностей

2D		3D	
1. а) Ra – среднее арифметическое отклонение ординат профиля; б) Rq – среднее квадратическое отклонение PDF; в) Rsk – коэффициент асимметрии PDF; г) Rku – коэффициент эксцесса PDF	1. PDF дифференциальная функция распределения ординат профиля	1. APDF дифференциальная функция распределения ординат поверхности	1. а) Sa – среднее арифметическое отклонение ординат поверхности; б) Sq – среднее квадратическое отклонение AADF; в) Ssk – коэффициент асимметрии AADF; г) Sku – коэффициент эксцесса AADF
	2. CDF интегральная функция распределения ординат профиля	2. ACDF интегральная функция распределения ординат поверхности	
3. T_x – корреляционная длина профиля	3. $ACF(t_x)$ корреляционная функция профиля	3. AACF (t_x, t_y) корреляционная функция поверхности	3. T_x, T_y – корреляционные длины в плоскости x, y
4. Δf_x – эффективная ширина спектра в направлении профиля	4. PSD(f_x) функция спектральной плотности профиля	4. APSD(f_x, f_y) функция спектральной плотности поверхности	4. $\Delta f_x, \Delta f_y$ – эффективная ширина спектра в плоскости x, y
5. Относительная длина профиля	5. Фрактальные характеристики профиля (DI – фрактальная размерность профиля; SRC – область самоподобия профиля)	5. Фрактальные характеристики поверхности (DS – фрактальная размерность поверхности; ASRC – область самоподобия поверхности)	5. Относительная площадь профиля
	Аналоги	Новые 3D характеристики	
	Аналогов нет	1. Плотность вершин поверхности Sds 2. Коэффициент анизотропии поверхности шероховатости Sir 3. Направление текстуры Sld 4. Автокорреляционная длина Sal 5. Относительная площадь Sdr 6. Коэффициент, показывающий объем сердцевины шероховатого слоя, отнесенный к Sq , Sci 7. Коэффициент анизотропии гармонической составляющей Kg 8. Объем пустот сердцевины шероховатого слоя на единицу поверхности V_{vc}	

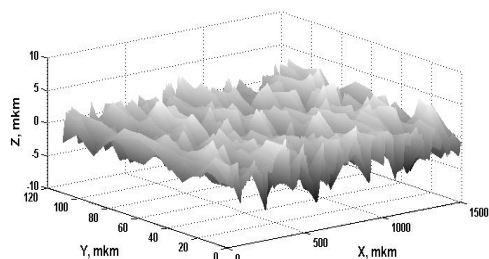
В настоящее время НИЦ «Микротопография» МГТУ им. Г.И. Носова обладает современным оборудованием по измерению микротопографии поверхности, таким как интерференционный микроскоп Contour GT K1 (Bruker, США), контактный профилометр MarSurf XR20 with XT20 (Mahr, Германия), комплект оборудования для определения физико-механических свойств материалов UMT – 1 (Bruker, США) и другие измерительными устройствами.

Ниже будут приведены некоторые примеры определения 3D характеристик поверхности, которые использовались для разработки технологии производства металлопродукции с регламентированной микротопографией поверхности в ОАО «ММК» [9-12].

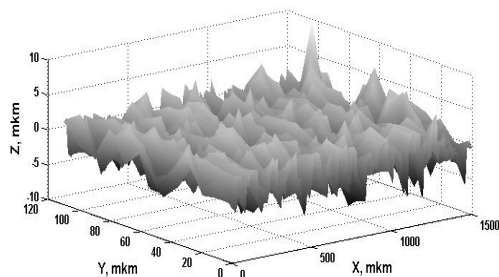
Пример определения плотности вершин Sds

На рис. 3 приведены результаты измерения микротопографии автолиста, у которого 2D параметры практически не различают эти поверхности, а 3D параметры имеют существенные отличия. Было также выяснено, что при выработке поверхности рабочих валков параметр R_{Pc} у дрессируемого листа остается неизменным, а 3D параметр S_{ds} растёт.

Было показано [9,11], что параметр R_{Pc} фиксирует большое количество «ложных» пиков, то есть боковые грани единичных выступов (рис. 4). Без сомнения, этот эмпирический параметр будет в дальнейшем устранён из регламентируемых параметров. Параметр S_{ds} фиксирует именно реальные, а не «ложные» пики. Исследования технологий производства листовой продукции с помощью этого параметра дают совершенно другую реальную информацию о преобразованиях шероховатого слоя поверхности по сравнению с 2D параметром R_{Pc}.



R_a=1,67 мкм, R_{Pc}=64 1/см, S_{ds}=17640 1/см²



R_a=1,65 мкм, R_{Pc}=67 1/см, S_{ds}=24 570 1/см²

Рис. 3. Микротопография поверхности автолиста (параметры R_{Pc} и S_{ds} определялись при одинаковых значениях уровней $c = \pm 0.5$ мкм)

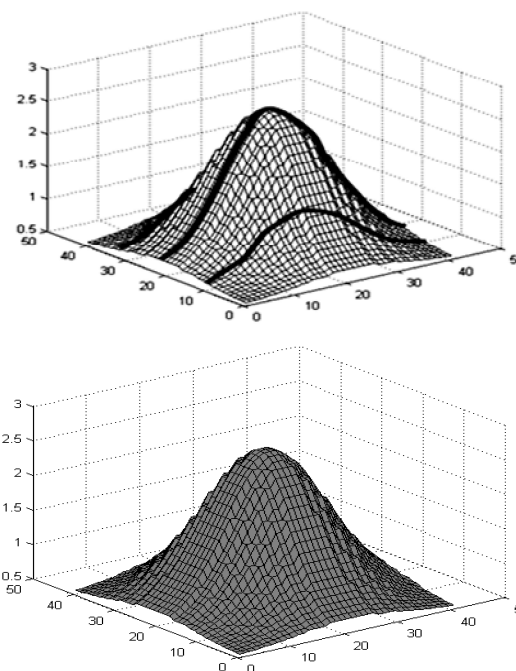


Рис. 4. К определению ложных пиков по 2D технологии и реальных пиков поверхности по 3D технологии

Пример исследования микротопографии поверхности холоднокатаного листа в области дефекта «излом» и в области вне этого дефекта

Одним из основных дефектов холоднокатаных полос, возникающим при отжиге в колпаковых печах, является «свариваемость» или «слипание» витков рулона между собой. В результате чего при размотке такого рулона образуются специфические нарушения плоскостности полос, имеющие вид поперечных «изломов». Измеренные локальные 3D карты поверхности листа в области с дефектом и в соседней области без дефекта излом приведены на рис. 5.

По полученным данным (табл. 2 и графики ААСФ на рис. 6) можно сделать выводы, что участок поверхности с дефектом «излом», образованным в результате слипания витков металла в рулоне при отжиге в колпаковых печах, имеет отличную от бездефектного участка топографию как на макро- (образование шейки), так и на микроуровне (изменения 3D характеристик) поверхности листа. Объёмные характеристики шероховатого слоя практически остаются неизменными, но в зоне дефекта «излом» видны радикальные изменения формы неровностей: высота пиков увеличивается приблизительно в два раза, а частота неровностей (см. параметр S_{al}) уменьшается в 6 раз! (см. рис. 6). Это означает, что пики неровностей становятся более острыми по сравнению с пиками неровностей вне этого дефекта. Фрактальная размерность D_s микротопографии поверхности в зоне дефекта «излом» больше, чем вне этой зоны. Область самоподобия неровностей ASRC увеличивается.

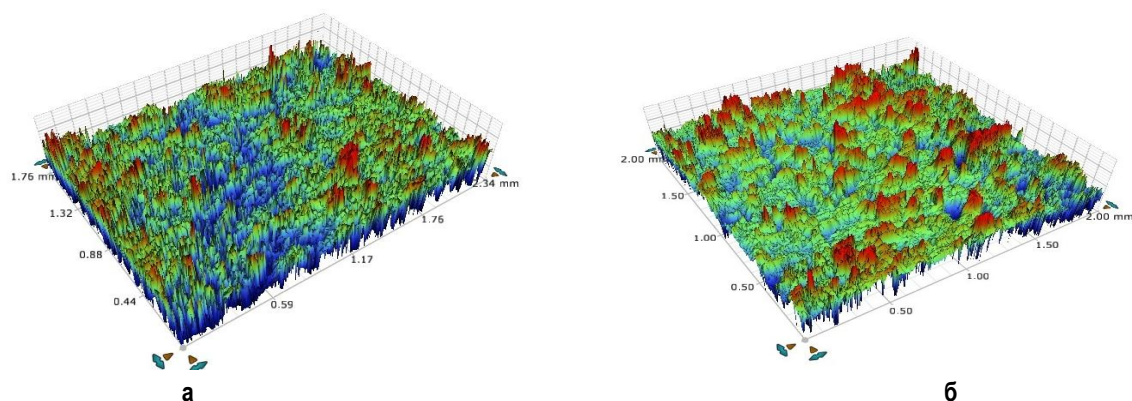


Рис. 5. 3D карты микро топографии поверхности образцов листа: а – с дефектом; б – без дефекта «излом»

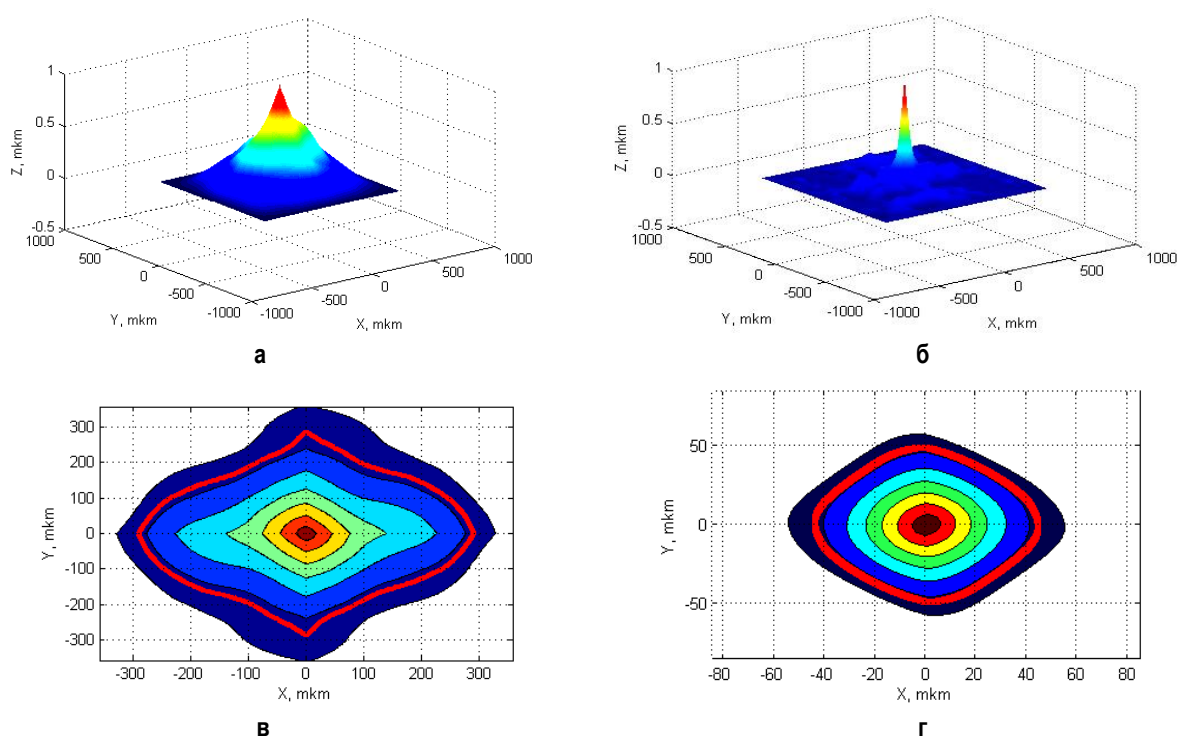


Рис. 6. Автокорреляционные функции поверхностей без дефекта (а) и с дефектом (б) и их проекции на плоскость XY (в) и (г) соответственно

Таблица 2

3D параметры области поверхности с дефектом «излом» и без дефекта

Группа оценок	3D критерии	Верх полосы		Низ полосы	
		с дефектом	без дефекта	с дефектом	без дефекта
Амплитудные	Среднеарифметическое отклонение ординат поверхности Sa, мкм	0,43	0,80	0,63	0,96
	Среднеквадратическое отклонение ординат поверхности Sq, мкм	0,55	1,06	0,83	1,27
	Коэффициент асимметрии Ssk	0,03	0,46	0,13	0,48
	Коэффициент эксцесса Sku	3,87	4,49	4,16	4,31
Функциональные	Маслоемкость Sv, мкм ³ /мкм ²	0,062	0,10	0,10	0,12
	Маслоудерживающая способность Sci	1,45	1,72	1,49	1,74
Пространственные	Плотность выступов поверхности Sds, 1/мм ²	2137	1193	3462	767
	Увеличение площади при образовании шероховатой поверхности Sdr, %	1,8	3,77	0,98	4,82
	Средний угол наклона неровностей Sdq, град	17	4	19	3
	Коэффициент анизотропии поверхности Str	0,81	0,93	0,77	0,94
	Минимальная корреляционная длина Sal, мкм	45	290	42	280
Фрактальные	Фрактальная размерность Ds	2,020	2,013	2,022	2,015
	Область самоподобия ASRC, мм ²	0,14	0,08	0,13	0,09

Пример исследования изменения микротопографии поверхности шероховатости при термообработке и дрессировке

В данном эксперименте образцы вырезались по всей ширине нагартванной полосы после прокатки на стане 2000, а затем после отжига и дрессировки на стане 2500 на насечённых валках (ОАО «ММК»). Места отбора проб были одинаковы в первом, втором и третьем случае.

Измеренные 3D карты поверхности листа приведены на рис. 7, в табл. 3 приведены усреднённые данные о 3D параметрах и их изменениях.

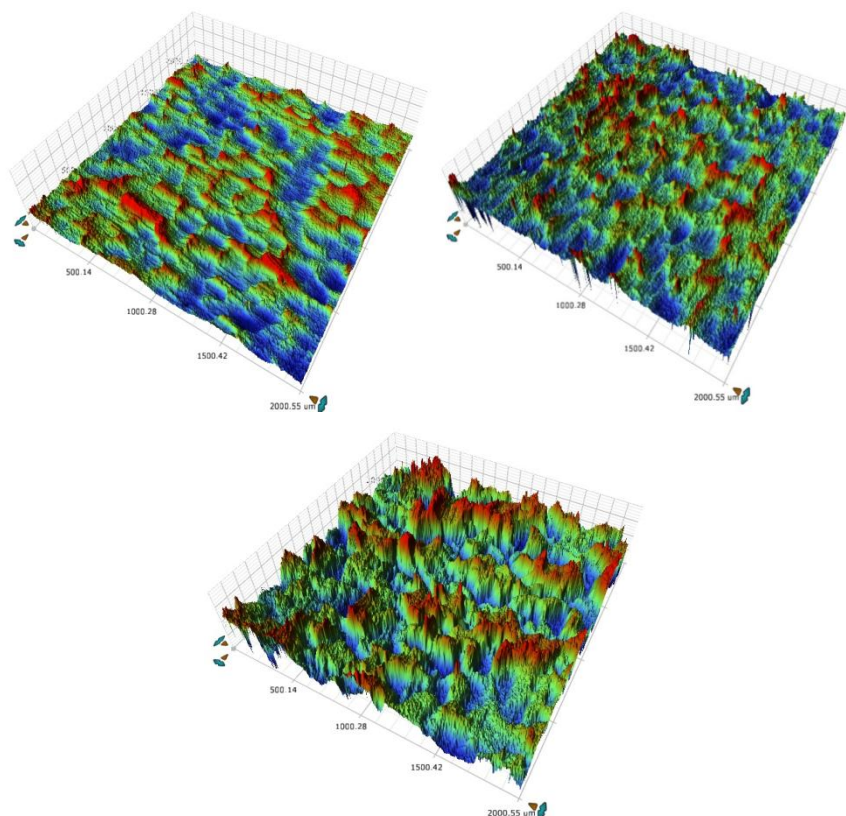


Рис. 7. Карты поверхности подката, отожженного листа и дрессированного листа

Полученные данные указывают на то, что при термообработке габариты неровностей поверхности немного увеличиваются, но происходит существенное увеличение площади шероховатой поверхности.

При дрессировке происходят существенные изменения формы неровностей: рост высот неровностей (параметры Sa, Sq) при практически неизменных шаговых параметрах неровностей (параметры Sal, Sds). При этом происходит значительное (~50%) увеличение маслоёмкости Sc и поверхности площади шероховатой поверхности Sdr (~55%).

С одной стороны, резкое увеличение маслоёмкости Sc приводит к улучшению условий штамповки, с другой – увеличивает массу покрытия автолиста. Но автопроизводители обычно следят за улучшением условий штамповки, поскольку брак, полученный при штамповке, практически не устраняют.

Автопроизводители требуют максимально возможные значения параметра Sdr, так как его увеличение линейно связано с увеличением адгезионных свойств покрытий автолиста.

Пример определения функции спектральной плотности поверхности APSD(fx, fy)

График функции спектральной мощности очень удобен для определения другой точечной оценки APSD(ω_k) – эффективной ширины спектра $\Delta\omega_{эфф}$.

Трёхмерное определение спектральной функции позволило получить совершенно новую информацию об анизотропии гармонической составляющей поверхности шероховатости:

1) направление на поверхности волнистости, обладающее наибольшей амплитудой;

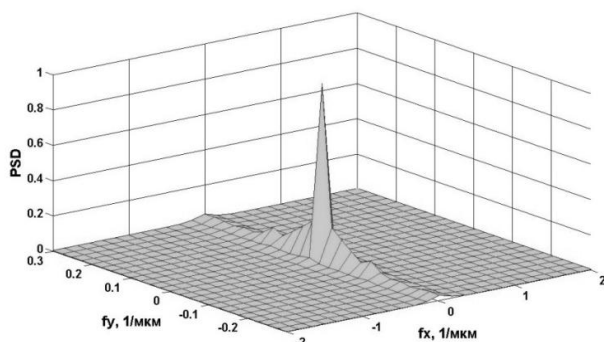
2) коэффициент анизотропии гармонической составляющей поверхности шероховатости.

Например, на рис. 8, а представлена фигура, образованная APSD в зависимости от пространственных частот в разных направлениях. На рис. 8, б приведены сечения этой фигуры на различных частотах. Отношение осей этих сечений даёт коэффициент анизотропии гармонической составляющей (K_g) поверхности шероховатости.

Таблица 3

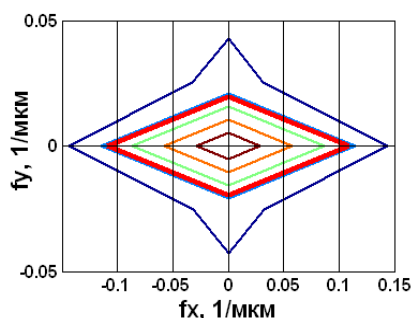
Изменения микротопографии поверхности

Параметр	Размерность	Среднее			Изменение, %	
		Подкат	После отжига	После дрессир	Подкат - отож	Отож - дресс -
Sa	μm	0,77	0,80	1,23	3,9	42,3
Sq	μm	0,99	1,06	1,54	7,1	45,3
Ssk		0,77	1,06	1,54	37,6	45,3
Sku		5,17	6,79	3,68	31,3	-45,8
Sds	$1/\text{mm}^2$	739	778	794	5,1	2,1
Sal	μm	90	83	80	-7,8	-4,6
Str		0,68	0,74	0,81	8,9	9,1
Sc	$\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$	1,26	1,29	1,93	2,4	49,6
Sci		1,69	1,67	1,60	-1,2	-4,2
Sdr	%	1,65	1,98	3,07	20,0	55,0



а

APSD ($\Delta\omega_x=0,11$ [1/мкм], $\Delta\omega_y=0,02$ [1/мкм])



б

анизотропия ($K_g=0,18$)

Рис. 8. Спектральная функция микротопографии поверхности APSD

Эта информация интересна для автомобилестроителей, поскольку гармоническая составляющая проявляется только при окраске автомобиля и не видна до покраски. Необходимость методики для обнаружения гармонической составляющей до покраски является очень важной.

Она также важна при определении качества подготовки поверхности валков, поскольку позволяет выделить периодические следы от шлифовального

круга даже после дальнейшей электроэрозионной обработки поверхности вала.

Выводы

Переход от описания 2D параметров к 3D параметрам позволяет более точно характеризовать микротопографию поверхности, а также получать совершенно новые важные эксплуатационные параметры поверхности. Использование 3D параметров микротопографии поверхности оказывается весьма эффективным для исследований и разработки технологий производства продукции с регламентированной микротопографией поверхности.

Список литературы

- Jiang X. et al. 2007 Paradigm shifts in surface metrology. Part I. Historical philosophy. Proc. R. Soc. A 463, 2049-2070; Part II. The current shift. Proc. R. Soc. A 463, 2071-2099.
- Stout K.J., Blunt L. Three-dimensional Surface Topography. Second Edition. Perton Press. London. 2000. 285 p.
- Thomas T.R. Rough Surfaces, 2nd edition, Imperial college Press, 1999.
- Whitehouse D.J. Handbook of Surface and Nanometrology, IOP, Publishing Ltd, 2003
- Белов В.К. Профили поверхности. 3-е изд. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2010. 260 с.
- Получение автолиста с регламентированной микротопографией поверхности / Белов В.К., Горбунов А.В., Радионов А.Ф. и др. // Производство проката. 2007. №4. С. 15-17.
- Мазур В.Л. Шероховатость поверхности тонколистовой стали: требования и технология производства // Сталь. 2012. №1. С.29-33.
- Влияние технологической жидкости на 2D и 3D оценки микротопографии поверхности дросселируемой полосы / Белов В.К., Пономарева М.В., Горбунов А.В. и др. // Сталь. 2012. №1. С.34-38.
- Белов В.К., Пономарева М.В. Новое в метрологии: замена 2D параметров микротопографии профиля на 3D параметры микротопографии поверхности // Контроль и диагностика. 2012. №7. С.57-63.
- Особенности технологии производства листовой продукции для автомобильной промышленности с регламентированной микротопографией поверхности / Белов В.К., Пономарева М.В. и др. // Бюллетень научно-технической и экономической информации «Черная металлургия». 2012. №4. С.89-93.
- Белов В.К., Пономарева М.В. Новый подход к регламентации микротопографии поверхности холоднокатаного листа с использованием современных 3D параметров // Бюллетень научно-технической и экономической информации «Черная металлургия». 2012. №5. С. 46-55.
- Комплексное исследование микротопографии поверхности холоднокатанного и оцинкованного проката с помощью современных 3D критериев / Белов В.К., Дьякова М.В., Ласьков С.А., Горбунов А.В., Радионов А.Ф., Жумаргалиев Н.И., Кривощёков П.С. // Сталь. 2013. №11. С. 36-41.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE USE OF 3D TOPOGRAPHIC CHARACTERISTICS OF SURFACES IN ENGINEERING

Belov Valery Konstantinovich – Professor, Physics department, Head of RC «Microtopography», Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519)20 92 00. E-mail: belovalkon@mail.ru.

Begletsov Danil Olegovich – Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia.

Gubarev Evgeny Vladimirovich – Teaching, Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia.

Denisov Sergey Vladimirovich – D.Sc. (Eng.), Head of Central Laboratory, OJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works», Russia.

Djakova Maria Viktorovna – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia.

Smirnov Konstantin Vital'yevich – D.Sc. (Eng.), Head of Cold-Rolled Products Laboratory, OJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works», Russia.

Abstract. Change of 2D parameters for 3D parameters of texture will allow to describe properties of surface roughness with higher precision and to get new important performance characteristics of surfaces of metallurgy products. The use of roughness description is quite effective for research and development of technologies for manufacturing of products with given surface topography.

Keywords: surface roughness, 3D texture, automotive sheet, sheet cover.

References

- Jiang X. et al. 2007 Paradigm Shifts in Surface Metrology. Part I. Historical Philosophy. Proc. R. Soc. A 463, 2049-2070; Part II. The Current Shift. Proc. R. Soc. A 463, 2071-2099.
- Stout K.J., Blunt L. Three-dimensional Surface Topography. Second Edition. Perton Press. London. 2000. 285 p.
- Thomas T.R. Rough Surfaces, 2nd edition, Imperial College Press, 1999.

4. Whitehouse D.J. Handbook of Surface and Nanometrology, IOP, Publishing Ltd, 2003.
 5. Belov V.K. *Profili poverhnosti* [Surface Profiles]. Magnitogorsk: MSTU, 2010, 260 p.
 6. Belov V.K., Gorbunov A.V., Radionov A.F. and others. Producing of Automobile Sheet with Given Surface Roughness. *Proizvodstvo prokata* [Rolled Products Manufacturing]. 2007, no. 4, pp. 15-17.
 7. Mazur V.L. Surface Roughness of Thin-sheet Steel: Requirements and Process Technology. *Stal'* [Steel]. 2012, no. 1, pp. 29-33.
 8. Belov V.K., Ponomareva M.V., Gorbunov A.V. and others. Effect of Process Liquid on 2D and 3D Estimations of Surface Roughness of Tempered Steel. *Stal'* [Steel]. 2012, no. 1, pp. 34-38.
 9. Belov V.K., Ponomareva M.V. New in Metrology: Change of 2D Roughness parameters to 3D parameters of Surface Roughness. *Kontrol i diagnostika* [Testing and Diagnostics]. 2012, no. 7, pp. 57-63.
 10. Belov V.K., Ponomareva M.V. and others. About Steel Sheet Production Technology with Given Surface Roughness for Automobile Industry, Steel Industry. *Byulleten nauchno-tehnicheskoy i ekonomicheskoy informatsii «Chernaya metallurgiya»* [Bulletin of Scientific and Economic Information]. 2012, no. 4, pp. 89-93.
 11. Belov V.K., Ponomareva M.V. New Approaches for Regulation of Surface Roughness of Cold-Rolled Sheets with Help of Modern 3D Surface Parameters Steel Industry. *Byulleten nauchno-tehnicheskoy i ekonomicheskoy informatsii «Chernaya metallurgiya»* [Bulletin of Scientific and Economic Information]. 2012, no. 5, pp. 46-55.
 12. Belov V.K., Djakova M.V., Las'kov S.A., Gorbunov A.V., Radionov A.F., Zhumargaliev N.I., Krivoschekov P.S. Comprehensive Analysis of Surface Roughness of Cold-Rolled and Zinc-Coated Strip with the Help of Modern 3D Criteria. *Stal'* [Steel]. 2013, no. 11, pp. 36-41.
-

От редакции

Профессором МГТУ им. Г.И. Носова С.А. Тулуновым в 80-е годы прошлого столетия предложен оригинальный способ описания калибров и формоизменения металла в них с применением конечномерных пространств и развит структурно-матричный подход к моделированию прокатки сортовых профилей. Результаты исследований внедрены в производство в виде оригинальных калибровок валков, обеспечивающих увеличение точности профилей, улучшение качества поверхности раскатов, эффективное и стабильное формоизменение и снижение энергозатрат на ряде сортовых и проволочных станов нескольких металлургических предприятий России и СНГ, на которых установлены или в настоящее время монтируются новые прокатные станы, преимущественно компании DANIELI.

В этом направлении, включая международное сотрудничество кафедры ОМД МГТУ, сейчас успешно работают доктора технических наук, профессора О.Н. Тулунов и А.Б. Моллер, кандидаты технических наук, доценты Д.И. Кинзин, С.А. Левандовский, Н.А. Ручинская.

В 2006 году коллектив молодых ученых под руководством проф., д-ра техн. наук Тулунова О.Н. отмечен Премией Правительства РФ в области науки и техники.

УДК 621.771.2.001.57: 377.44

ГИБКИЕ РЕШЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ И ПОДГОТОВКЕ КАДРОВ: ПОЗИТИВНЫЙ ОПЫТ СОТРУДНИЧЕСТВА С КОМПАНИЕЙ DANIELI

Тулунов О.Н.¹, Моллер А.Б.¹, Нигрис Дж.², Чукин М.В.¹, Кинзин Д.И.¹

¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

² Danieli&C. OfficineMeccanicheS.p.A., Buttrio (Ud), Italy

Аннотация. Авторы этой статьи поддерживают сотрудничество МГТУ со специалистами компании Danieli уже более 10 лет как в области науки и технологии, так и в области совместной международной подготовки кадров.

Постоянное стремление к повышению гибкости и экономической эффективности производства делает очевидным поиск новых способов контроля и улучшения качества продукции, компетенций персонала и технологических факторов. Необходимость изменения проектно-компоновочных решений для станов в процессе их строительства и модернизации подчеркивает важность развития и применения адаптивных моделей, решающих проблемы с помощью системного анализа, которые возникают на производстве.

На основе структурно-матричного подхода была разработана программа, автоматически корректирующая межвалковые зазоры в клетях стана с учётом объёма прокатанного металла в каждом калибре и размеров поперечного сечения раската на выходе из чистой клетки. Программа использует коэффициент приоритетности для удержания формы раската в поле допусков в процессе постоянного изменения формы калибров из-за износа. Кроме этого применяется матрица износа, рассчитывающая износ в различных точках калибра, и коэффициент неравномерности деформации, показывающий разницу в обжатиях по сечению металла.

Эффективность работы металлургического предприятия зависит от уровня квалификации персонала. Характеристика качества профессиональной подготовки персонала может быть представлена с использованием количественных показателей. Одним из таких показателей является комплексный показатель компетентности персонала.

Согласно требованиям стандартов серии ИСО 9000 персонал является главным ресурсом в системе менеджмента качества, поскольку факторы, создающие условия для обеспечения и улучшения качества, в первую очередь не технические, а социальные. Поэтому высшему руководству организаций, ориентированных на долговременное функционирование, необходимо заботиться о воспроизводстве интеллектуального потенциала человеческих ресурсов своей компании.

Адаптивные программы подготовки кадров для пусковых объектов Danieli в России, а также для работы в самой компании Danieli стали одним из наиболее успешных проектов МГТУ им. Г.И. Носова и Danieli под эгидой Международного Союза «Металлургмаш» и «МЕТАЛЛУРГМАШ Инжиниринг».

Ключевые слова: структурно-матричные модели, сортопрокатные комплексы, гибкие технологические решения, адаптивные программы подготовки кадров, международное сотрудничество.

Современное моделирование процессов обработки металлов давлением показало, что в управлении качеством прокатной продукции и решении ряда технологических задач, прежде всего задач оптимизации калибровки валков, высока эффективность более простых матричных методов моделирования. Принципы этого подхода к моделированию прокатки в калибрах с целью повышения эффективности технологических процессов деформации сортовых профилей сформулированы в работах основоположников научной шко-

лы матричного моделирования – процессов сортовой прокатки С.А. Тулунова и О.Н. Тулунова [1] и в дальнейшем были успешно развиты А.Б. Моллером, Д.И. Кинзиным, А.А. Зайцевым и другими представителями указанной научной школы.

За разработку научных основ и практических приложений адаптивных структурно-матричных моделей для повышения эффективности процессов сортовой прокатки коллектив молодых ученых (Завьялов А.А., Кинзин Д.И., Логинов А.В., Левандовский С.А.) под

руководством О.Н. Тулупова удостоен премии Правительства РФ в области науки и техники за 2006 г.

Первой крупной международной компанией, которая системно заинтересовалась структурно-матричными моделями процессов сортовой прокатки, разработанными при определяющем участии авторов этой статьи, стала компания Danieli (Италия). Перевод и изучение специалистами Danieli ведущих трудов по структурно-матричным моделям сортовой прокатки и калибровки, обсуждение их на совместных совещаниях, а также пуск ряда сортопрокатных мощностей в России определили приоритетность использования развития структурно-матричных моделей применительно к развитию станов Danieli и максимальному использованию их технологических возможностей в условиях российских металлургических предприятий.

Адаптивность технологических решений Danieli на примере сортопрокатных комплексов

Адаптивные решения – это генеральное направление научных исследований сортовой группы кафедры ОМД и производная от подходов компании Danieli к системному и рациональному решению масштабных технических и технологических задач. В 2003 году при разработке предложений по модернизации сортопрокатного комплекса ММК команда Danieli была первой, кто эффективно переориентировался с первоначальной концепции ММК о частичной модернизации производства сортового проката и катанки на задачу о полной замене мощностей. Именно специалисты Danieli первыми предложили взаимосвязанный комплекс из трех современных станов, вписывающийся в ограниченные площади старых цехов при соответствии заданным технологическим требованиям.

Для ряда авторов этой статьи, принимавших участие в качестве экспертов в обсуждении этого масштабного проекта, стал понятен не только высокий технический уровень компании, но также способность и готовность быстро находить эффективные технические и технологические решения, отступая от типовых схем, используя производственные резервы и закладывая эти резервы в возможность дальнейшего развития технологических комплексов.

Рассмотрим адаптивность с точки зрения возможности выявления и использования производственных резервов станов Danieli через призму современного состояния технологии и оборудования для сортовой прокатки.

С начала этого десятилетия в сортопрокатном производстве достаточно явно прослеживается ряд тенденций, связанных с повышением эффективности работы прокатных станов, снижением текущих издержек и инвестиционных затрат на совершенствование действующих и строительство новых технологических комплексов.

Прежде всего, следует выделить факторы и факты, связанные с тенденциями выбора оборудования для сортопрокатного производства:

– продолжается строительство металлургических мини-заводов по производству сортовых профилей и арматурного проката в различных регионах России и

мира. Следует отметить, что новые мини-заводы, запуск которых запланирован и осуществляется в 2013-2014 гг., являются проектами крупных металлургических холдингов ОАО «Северсталь» (сортовой завод Балаково) и «УГМК-Сталь» (мини-завод в Тюмени). Оба упомянутых производственных комплекса основаны на технологических решениях и оборудовании Danieli;

– крупные металлургические предприятия продолжают модернизацию сортопрокатного передела. Наиболее масштабным примером последних лет является комплекс нового рельсобалочного стана на ЧМК (Мечел), также основанный на технологии и оборудовании Danieli;

– возрос интерес частных инвесторов к современным недорогим компактным и гибким сортопрокатным комплексам с небольшой производительностью для производства небольших партий арматуры, круглого, квадратного и фасонного проката.

Кроме этого целесообразно выделить тенденции, связанные с технологическими решениями, включая калибровку валков:

– высокопроизводительные непрерывные комбинированные станы, позволяющие осуществлять прокатку широкого сортамента профилей с совмещением в одном стане двух или более технологических линий;

– для небольших по объему производств характерно стремление к компактности с минимизацией оборудования и применением реверсивной черновой прокатки, а также возвращением к использованию черновых клетей трио;

– снижение себестоимости проката путем экономии энергозатрат на деформацию, использования тепла заготовок при горячем посаде, оптимизации парка валков и повышения ресурса их использования;

– уменьшение количества профессиональных калибровщиков на металлургических заводах и, как следствие, потребность в развитии системы аутсорсинга (разработка и совершенствование калибровки внешними специалистами и компаниями).

Вышеизложенное позволяет сделать два принципиальных вывода:

• Принимая во внимание названные проекты, а также другие сортопрокатные объекты Danieli в России и СНГ, следует признать, что среди современных комплексов по производству сортового проката на постсоветском пространстве наиболее существенным является семейство сортовых и проволочных станов Danieli.

• Необходимы универсальные адаптивные модели, позволяющие решать вопросы приспособления известных технологических решений к конкретным условиям, расширения и корректировки сортамента, развития технологии (включая калибровку валков) на станах Danieli, максимально эффективно используя возможности этого семейства станов.

Как уже упоминалось, большой интерес Danieli вызвало комплексное многолетнее развитие авторами данной статьи структурно-матричного подхода в направлении адаптивного моделирования формоизменения и расчета параметров калибровки с использованием матричного описания [1-4] параметров калибровки, который является наиболее рациональным

для решения задач повышения качества продукции сортопрокатных технологических систем.

Danieli выполнили полный корпоративный перевод монографии [4] на официальный технический язык компании – английский, после чего было проведено изучение этого материала. Решающим фактором, вызвавшим интерес специалистов Danieli к данному подходу, является значительный набор разнообразных параметров, всесторонне характеризующих напряженно-деформированное состояние прокатываемого металла для быстрого решения задач технологии и управления качеством продукции без использования ресурсоемкого метода конечных элементов.

Прошедшие в 2003-2004 гг. совместные обсуждения указанных материалов со специалистами Danieli Morgardshammar, Danieli Automation и Danieli Research and Development показали интерес компании к развитию структурно-матричных моделей, поскольку они позволяют увязать в рамках единого комплексного подхода возможность других эффективных моделей. Такой подход следует признать наиболее перспективным при создании современных систем анализа и управления технологическими процессами методами объектного программирования.

Таким образом, этот структурно-матричный подход к моделированию процессов ОМД и, в частности, сортовой прокатки профилей различной сложности обеспечивает:

- комплексный учет факторов, оказывающих влияние на процесс формоизменения, и влияния самого формоизменения на составляющие технологического процесса [5];
- универсальность (единый способ представления информации, удобный для машинной обработки);
- адаптивность к процессам ОМД (возможность описывать процессы различной сложности, протекающие на различных технологических объектах, без изменения структуры описания);
- адаптивность к решаемым задачам анализа и управления технологическими схемами;
- возможность эффективно включить в единую информационную структуру отдельные модели, связывающие различные технологические параметры процесса прокатки;
- соответствие современным объектным подходам к созданию компьютерных систем проектирования и управления технологическими процессами.

Была признана перспективной для моделирования и создания систем управления разработанная на основе структурно-матричного подхода модель настройки стана [4,6], которая позволяет определять параметры клетей (зазоры между валками и скорости) при изменяющихся в ходе процесса прокатки технологических параметрах. Параметры настройки могут быть рассчитаны за время протекания процесса, или даже опережая реальный масштаб времени, что подтверждает целесообразность применения автоматизированной системы управления настройкой стана на базе «быстрых», упрощенных, но эффективных моделей.

Количественная оценка качества самого процесса

производства или выпускаемой продукции имеет важное экономическое значение, увязанное со всеми составляющими эффективности работы предприятия [7]. Приведем несколько примеров по использованию технологических резервов станом Danieli для калибровок профилей простой и фасонной формы.

Математическая модель для решения задачи оптимизации калибровок позволила сопоставить усилия в клетях до и после проведенной по модели целенаправленной оптимизации формы калибров на станах 170, 370 и 450 производства Danieli. В результате оптимизации калибровок для профилей круглой и квадратной формы усилие прокатки снизилось в диапазоне от 4 до 11%.

На примере технологии прокатки швеллера в условиях крупносортно-среднесортного стана 450 Danieli определена взаимосвязь неравномерности деформации и уровня загрузки клетки. Оптимизация калибровки позволила существенно (около 10%) снизить нагрузку на валки и создать запас для снижения температуры нагрева заготовки в печи на 30°C. Это обеспечило выполнение класса прочности 345 Н/мм² из стали марки 09Г2С по ГОСТ 19281-89 [8].

Адаптивные решения, инновации и сотрудничество в подготовке кадров

Компания Danieli исходит из того, что развитие техники и технологии невозможно без опережающего развития кадрового потенциала, поэтому один из стратегических приоритетов инновационного развития компании – это развитие совместно с партнерами современных адаптивных систем подготовки и повышения квалификации кадров.

На основе такого партнерства МГТУ, Danieli Service и Международный Союз «Металлургмаш» успешно реализуют концепцию организации и проведения эффективных, гибких, адаптивных программ специализированной подготовки и повышения квалификации по широкому спектру металлургических специальностей, рассчитанных на новые технологии Danieli и перевооружение металлургической отрасли, вопросы подготовки персонала при модернизации действующих и строительстве новых металлургических комплексов.

При поддержке Danieli и МГТУ Международным Союзом «Металлургмаш» в 2005 г. создан Департамент «Инновации и образование в металлургическом машиностроении» международной кафедры-сети ЮНЕСКО/МЦОС «Техническое и профессиональное образование и подготовка кадров».

В результате в том же году в рамках обеспечения успешного пуска трех новых станом Danieli в ОАО «ММК» была реализована 3-этапная международная программа повышения квалификации «костяка» инженерно-технического состава в количестве 10 человек. Программа по объему информации и глубине существенно превосходила стандартные программы обучения в рамках контрактов на поставку оборудования.

Программа включала:

- базовый курс, позволивший инженерам освежить профессиональные знания и получить информа-

цию о текущем уровне техники и технологии сорто-прокатного производства, который проводили специалисты МГТУ и Металлургмаш;

- специальный углубленный курс по оборудованию, технологии, системам управления и принципам эксплуатации и обслуживания трех сортовых станов, который на базе МГТУ проводили специалисты Danieli;

- месячная зарубежная стажировка на действующих станах-аналогах Danieli в Великобритании и Италии, которую организовали и провели специалисты Danieli Service.

Другим примером явилась реализация в 2006-2007 гг. адаптивной программы подготовки Danieli-МГТУ-Металлургмаш для пуска агрегата вакуумирования стали Danieli на металлургическом заводе УГМК-Сталь в Серове.

Программа включала базовый курс в МГТУ, специализированный курс Danieli и практический курс Danieli непосредственно на запускаемом агрегате. Такое построение программы позволило подготовить максимальное количество специалистов в максимально короткий срок без дополнительной зарубежной стажировки.

Адаптивность программ к конкретным условиям, требованиям заказчика и базовой квалификации персонала делают их весьма привлекательными для новых и модернизируемых производств [9].

Следует отдельно отметить весьма позитивный опыт подготовки кадров в России для самой компании Danieli:

- Danieli Service совместно с МГТУ и Международным Союзом «Металлургмаш», а затем «МЕТАЛЛУРГМАШ Инжиниринг» разработали систему отбора и целевой подготовки в МГТУ молодых инженеров для дальнейшей работы в компании Danieli.

- Были разработаны адаптивные программы и дополнительные требования к выпускникам. Руководство и специалисты Danieli Service обеспечивали чтение специализированных технических курсов в дополнении к основной программе. После защиты дипломных проектов и работ большинство отобранных молодых инженеров были направлены на стажировку в Италию и, в дальнейшем, влились в ряды специалистов компании Danieli.

Заключение

За последние 7 лет были осуществлены две международные программы подготовки кадров с помощью Danieli и для Danieli. Руководство Danieli считает такой опыт сотрудничества весьма успешным. Поэтому сегодня Danieli Service совместно с МГТУ и

МЕТАЛЛУРГМАШ Инжиниринг развивают концепцию взаимовыгодного сотрудничества и интеграции в научной, производственной и образовательной сфере и готовятся к запуску новой программы подготовки специалистов для Danieli.

В ноябре 2013 года в ходе рабочего визита в Danieli состоялись весьма содержательные переговоры между всеми вышеуказанными партнерами. При этом руководство Danieli Service, Danieli R&D и Danieli Automation обсудили возможности более глубокого взаимодействия в рамках образовательных и научно-исследовательских проектов с привлечением программ государственного финансирования (государственно-частного партнерства). Были подписаны три соответствующих рабочих протокола и начался процесс обмена информацией, что, несомненно, в ближайшее время позволит найти новые форматы сотрудничества и расширить накопленный позитивный опыт реализованных ранее проектов.

В год 100-летнего юбилея Danieli приведенные примеры показывают, что успешное инновационное развитие компании во многом связано с готовностью искать и успешно реализовывать новые подходы к научным исследованиям и подготовке кадров и находить для этого надежных партнеров.

Список литературы

1. Тулупов С.А., Тулупов О.Н. Матрично-статистическая модель формирования / Магнитогорск. горно-металлург. ин-т. Магнитогорск, 1988. Деп. в ин-те Черметинформация. №3/Д-1412.
2. Концепция построения современных моделей прокатки на сортовых станах / Моллер А.Б., Тулупов О.Н., Лимарев А.С., Назаров Д.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. №1. С. 64-67.
3. Tulupov O.N., Rashnikov S.F. Matrix mathematical modelling of roll pass design. Modelling of Metal Rolling Processes 3. Conference Papers. IOM, Chameleon Press Ltd, London, 1999. P. 458-467.
4. Тулупов О.Н. Структурно-матричные модели для повышения эффективности процессов сортовой прокатки: монография. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2002. 224 с.
5. Повышение точности прокатки сортовых профилей простой и фасонной форм. / Тулупов О.Н., Моллер А.Б., Кинзин Д.И., Левандовский С.А., Новицкий Р.В., Рычков С.С. // Металлургические процессы и оборудование. 2013. №4(34). С. 99-105.
6. Управление качеством сортового проката путем использования рациональных предупреждающих действий при настройке станов / Тулупов О.Н., Ручинская Н.А., Моллер А.Б., Лимарев А.С., Луценко А.Н. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. №4. С. 73-80.
7. Metallurgy qualimetry theory design and development / Gun G.S., Rubin G.Sh., Chukin M.V., Gun I.G., Mezin I.Yu., Korchunov A.G. // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2013. №5(45). С. 67-69.
8. Assessing channel rolling on a 450 mill / Nazarov D.V., Zakharov E.A., Denisov S.V., Moller A.B., Zav'yalov K.A. // Steel in Translation. 2009. T. 39. №10. С. 901-905.
9. Тулупов О.Н., Лимарев А.С., Моллер А.Б. Повышение конкурентоспособности производства посредством эффективного управления качеством подготовки кадров // Сталь. 2009. №3. С. 84-85.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

FLEXIBLE SOLUTIONS IN TECHNOLOGY AND PERSONNEL TRAINING: POSITIVE COLLABORATION EXPERIENCES WITH DANIELI

Tulupov Oleg Nikolaevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: o.tulupov@mail.ru.

Moller Alexander Borisovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8 (3519) 29-85-70. E-mail: moller@hotmail.ru.

Nigris Giovanni – Vice-president Danieli&C. OfficineMeccanicheS.p.A., Buttrio (Ud), Italy. Phone: +39 (0432) 195 81 11. Fax: +39 (0432) 195 82 89.

Chukin Mihail Vitalevich – D.Sc. (Eng.), Professor, First Vice-Rector-Vice Rector for Science and Innovation, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: m.chukin@mail.ru.

Kinzin Dmitry Ivanovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8 (3519) 29-85-70.

Abstract. The authors of this article have been supporting the collaboration between NMSTU and Danieli specialists for over 10 years in science and technology, and in international personnel training.

Constant push forward for more flexible and cost-effective production makes it obvious to search for better ways to control and improve product quality, personnel competence, and technological factors. The need to make fundamental changes in mill layouts while construction or reconstruction underlines the role of developing and using adaptive models that give alternative routes to solve problems that arise during production using systematic analysis.

Based on structural matrix approach we have developed a programme that automatically adjusts rolls gaps in the stands of the mill while considering the tonnage of rolled metal for each groove and dimensions of the rolled stock after finishing stand. This programme uses «priority coefficient» to maintain tolerances of the product when the cross-sections of the grooves are constantly changing because of wear.

Other vital features are «wear matrix» that calculates wear in different points of the groove and «the coefficient of non-uniform deformation» that shows the differences in reduction along the cross-section of the groove.

Work effectiveness of metallurgical enterprise depends on personnel qualification level. Qualitative performance of personnel may be assessed by using quantity indexes. One of such indexes is the complex index of personnel competence.

ISO 9000 standards require the staff to be the main resource in the quality management system, as social factors in particular not technical ones provide better quality.

Thus, it's necessary for the high management executives to take care about the reproduction of intellectual potential if they are oriented on long functioning.

Adaptive training programs for employees at startup facilities in Russia, as well as for the perspective engineers for Danieli have become one of the most successful NMSTU and Danieli projects together with International Union «METALLURGMASH» and «METALLURGMASH Engineering».

Keywords: structural-matrix models, section rolling complexes, flexible technological solutions, adaptive training programs, international collaboration.

References

1. Tulupov S.A., Tulupov O.N. *Matrichno-statisticheskaya model formoizmeneniya* [Matrix-statistical forming model]. MGMI. Magnitogorsk, 1988. Dep. at the Chermetinformatsiya Institute, 3/D-1412.
2. Moller A.B., Tulupov O.N., Limarev A.S., Nazarov D.V. The concept of building modern rolling models at section mills. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2007, no. 1, pp. 64-67.
3. Tulupov O.N., Rashnikov S.F. Matrix mathematical modelling of roll pass design. Modelling of Metal Rolling Processes 3. Conference Papers. IOM, Chameleon Press Ltd, London, 1999, pp. 458-467.
4. Tulupov O.N. *Struktumno-matrichnye modeli dlya povysheniya effektivnosti protsessov sortovoy prokatki* [Structural-matrix models for improving the effectiveness of bar rolling: Monograph]. Magnitogorsk: NMSTU, 2002, 224 p.
5. Tulupov O.N., Moller A.B., Kinzin D.I., Levandovskiy S.A., Novitskiy R.V., Rychkov S.S. Improving rolling precision of simple and structural section shape. *Metallurgicheskie processy i oborudovanie* [Metallurgical processes and equipment]. 2013, no. 4(34), pp. 99-105.
6. Tulupov O.N., Ruchinskaya N.A., Moller A.B., Limarev A.S., Lutsenko A.N. Long-rolled steel quality management through the use of rational preventive actions when setting up mills. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2007, no. 4, pp. 73-80.
7. Gun G.S., Rubin G.Sh., Chukin M.V.E., Gun I.G., Mezin I.Yu., Korchunov A.G. Metallurgy quality theory design and development. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2013, no. 5(45), pp. 67-69.
8. Nazarov D.V., Zakharov E.A., Denisov S.V., Moller A.B., Zavyalov K.A. Assessing channel rolling on a 450 mill. *Steel in Translation*. 2009, vol. 39, no. 10, pp. 901-905.
9. Tulupov O.N., Limarev A.S., Moller A.B. Improving the production competitiveness through effective quality management of personnel training. *Stal* [Steel]. 2009, no. 3, pp. 84-85.

От редакции

В магнитогорской школе прокатчиков развернуто новое научное направление, связанное с асимметричными процессами пластической деформации, которое в настоящее время возглавляет А.М. Песин.

В работах В.М. Салганика и А.М. Песина показана необходимость учета поворота входных и выходных сечений очага деформации, вызванного крутящим моментом от противоположного действия сил трения на контактной поверхности в смешанной кинематической зоне.

Совместно с ОАО «ММК», при активном участии бывшего начальника листопрокатного цеха Дригуна Э.М., разработан и впервые в мире внедрен новый процесс получения крупногабаритных тел вращения в линии толстолистового стана.

Показана необходимость и возможность учета поперечного течения металла при прокатке ленты. Предложены новые технические решения, позволившие более чем в два раза снизить исходную клиновидность подката.

В последние годы установлено и активно развивается международное сотрудничество с ведущими научными школами по асимметричной прокатке, специалистами Ченстоховского технологического университета (Польша) и Донбасской государственной машиностроительной академии (Украина).

УДК 621.771

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТНОЙ АСИММЕТРИИ НА ПАРАМЕТРЫ РАЗЛИЧНЫХ ПРОЦЕССОВ ЛИСТОВОЙ ПРОКАТКИ

Песин А.М.¹, Дья Х.², Кавалек А.², Сжинский П.², Пустовойтов Д.О.¹, Сатонин А.В.³, Чуруканов А.С.³

¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

² Ченстоховский технологический университет, Польша

³ Донбасская государственная машиностроительная академия, Украина

Аннотация. Выполнено исследование влияния скоростной асимметрии на структуру металла и силовые параметры процесса холодной прокатки латунной ленты. Показано, что с увеличением степени скоростной асимметрии максимально возможные суммарные до появления трещин обжатия возросли с 64 до 79%. При толстолистовой прокатке установлено, что применение двух противоположно направленных факторов асимметрии позволяет существенно снизить усилие прокатки, а также обеспечить получение листов без кривизны.

Ключевые слова: научная школа, международное сотрудничество, асимметричная прокатка, структура металла, скоростная асимметрия, конечно-элементное моделирование, напряженно-деформированное состояние металла, ski-эффект.

Введение

Магнитогорский государственный технический университет (МГТУ), Донбасская государственная машиностроительная академия (ДГМА) и Ченстоховский технологический университет (ЧТУ) на протяжении многих лет являются одними из лидеров по исследованию и разработке технологий асимметричной прокатки.

В работах магнитогорских исследователей показана необходимость учета поворота входных и выходных сечений очага деформации, вызванного крутящим моментом от противоположного действия сил трения на контактной поверхности в смешанной кинематической зоне [1-10]. Предложены и внедрены новые совмещенные процессы асимметричной прокатки и пластической гибки [11-14].

Крамовской школой разработаны теоретические основы процесса ДНПВ, предложены различные варианты и определены условия реализации этого процесса [15-21].

Специалистами Ченстоховского технологического университета выполнены обширные численные и экспериментальные исследования различных процессов листовой асимметричной прокатки [22-27].

В последние годы международное сотрудничество наших университетов усилилось. Только за последний год выполнены следующие совместные работы:

1. Исследование влияния скоростной асимметрии на структуру металла и силовые параметры процесса холодной прокатки ленты (МГТУ-ДГМА)

Скоростная асимметрия, с одной стороны, приводит к снижению отрицательного влияния контактных сил трения и, как следствие, возможности увеличения деформаций сжатия при прокатке, с другой стороны, в очаге создаются значительные сдвиговые деформации. При симметричной прокатке деформация металла является монотонной (рис. 1, а). В свою очередь, в асимметричном очаге деформации (рис. 1, б), в особенности в предельном случае, когда на одном валке реализуется только зона отставания, а на другом – только зона опережения, деформации сдвига существенно возрастают. Наличие больших сдвиговых деформаций является необходимым условием для получения ультрамелкозернистой структуры металла.

Для исследования влияния скоростной асимметрии на структуру металла и силовые параметры процесса холодной прокатки ленты был проведен эксперимент на лабораторно-промышленном стане дуо 100×100 (диаметр и длина бочки рабочих валков

100 мм, допустимая сила прокатки 50 кН) (рис. 2) кафедры «Автоматизированные металлургические машины и оборудование» Донбасской государственной машиностроительной академии (г. Краматорск, Украина). Исследование проводили для латунной ленты.

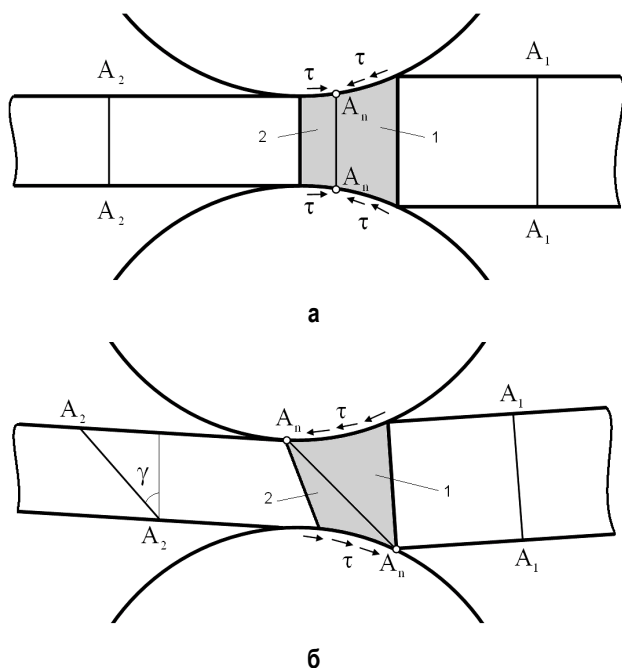


Рис. 1. Упрощенная схема симметричной (а) и асимметричной (б) прокатки: 1 – зона отставания; 2 – зона опережения; A_1A_1 – линия Лагранжа до деформации; A_2A_2 – линия Лагранжа после деформации; A_n – нейтральные точки; τ – силы контактного трения; γ – угол сдвига



Рис. 2. Общий вид лабораторно-промышленного стана дуо 100×100

Скоростная асимметрия создавалась за счет использования сменных зубчатых колес шестеренной клетки главной линии прокатного стана. Ведущая зубчатая шестерня, имеющая 25 зубьев, размещалась на приводном валу. Сменные зубчатые колеса, имеющие 25, 29 и 50 зубьев, размещались на ведомом валу. При этом степень скоростной асимметрии, определяемая

как соотношение окружных скоростей нижнего и верхнего рабочих валков, была равной 1,0; 1,16; 2,0. Измерение моментов прокатки на каждом из рабочих валков проводилось при помощи тензометрических датчиков сопротивления, наклеенных на тела соответствующих универсальных шпинделей главной линии рабочей клетки.

Прокатку проводили по режимам в соответствии с данными табл. 1-3. Образцы латунной ленты до и после деформации представлены на рис. 3.

Таблица 1

Изменение толщины ленты по проходам при симметричной прокатке

Номер образца	Толщина ленты после деформационного прохода, мм							
	0	1	2	3	4	5	6	7
1	0,80	0,55	-	-	-	-	-	-
2	0,80	0,57	0,46	-	-	-	-	-
3	0,80	0,57	0,49	0,42	-	-	-	-
4	0,80	0,59	0,54	0,49	0,44	0,35	0,33	0,29

Таблица 2

Изменение толщины ленты по проходам при прокатке с рассогласованием окружных скоростей валков на уровне 16%

Номер образца	Толщина ленты после деформационного прохода, мм							
	0	1	2	3	4	5	6	7
1	0,80	0,53	-	-	-	-	-	-
2	0,80	0,54	0,46	-	-	-	-	-
3	0,80	0,55	0,41	0,37	-	-	-	-
4	0,80	0,52	0,40	0,33	0,31	-	-	-
5	0,80	0,49	0,41	0,32	0,28	0,25	-	-
6	0,80	0,48	0,45	0,35	0,25	0,22	0,20	-

Таблица 3

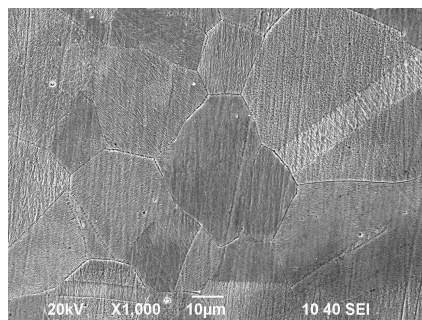
Изменение толщины ленты по проходам при прокатке с рассогласованием окружных скоростей валков на уровне 50%

Номер образца	Толщина ленты после деформационного прохода, мм						
	0	1	2	3	4	5	6
1	0,80	0,35	-	-	-	-	-
2	0,80	0,35	0,28	-	-	-	-
3	0,80	0,39	0,23	0,17	-	-	-
4	0,80	0,50	0,41	0,34	0,30	0,27	-

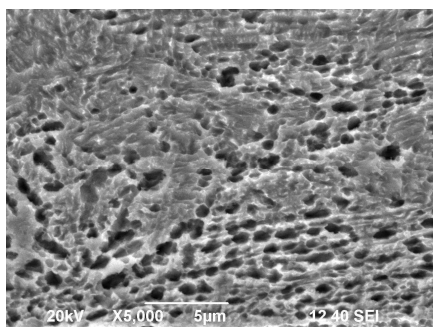
По результатам исследований получено: 1) с увеличением степени скоростной асимметрии возрастают максимально возможные единичные (с 31,25 до 56,25%) и суммарные, до появления трещин, (с 63,75 до 78,75%) обжатия; 2) в сравнении с симметричным процессом усилия прокатки снижаются на величину до 10%. Асимметричная прокатка с рассогласованием окружных скоростей валков на уровне 50% позволила получить фрагментированную структуру (рис. 4).



Рис. 3. Образцы латунной ленты до деформации (а) и после асимметричной прокатки (б)



а



б

Рис. 4. Исходная (а) и конечная (б) структуры латунной ленты после асимметричной прокатки

2. Конечно-элементное моделирование ski-эффекта при асимметричной толстолистовой прокатке (МГТУ-ЧТУ)

Моделирование проводилось методом конечных элементов в специализированном инженерном программном комплексе DEFORM для следующих условий: 1) толщина подката 20, 40, 60, 80 мм; 2) относительное обжатие по толщине 5, 10, 15, 25, 35%; 3) скорость прокатки 3,5 м/с; 4) рассогласование окружных скоростей рабочих валков 1, 3, 5%; 5) температура металла 800°C; 6) диаметр рабочих валков 1200 мм.

Принятые допущения: схема деформированного состояния – двумерная; процесс – изотермический; валки – несжимаемые (абсолютно жёсткие); деформируемая среда – вязкопластическая; деформируемый материал – однородный и изотропный; напряжения трения пропорциональны пределу текучести на сдвиг; показатель трения постоянный. В качестве начальных условий приняты следующие параметры: радиус рабочих валков; угловые скорости вращения рабочих валков; кривая текучести деформируемого материала; температура металла; начальная скорость заготовки; показатель трения на контакте с рабочими валками; количество деформационных проходов и распределение обжатий по проходам.

В результате решения задачи определяли следующие величины: кривизну листа после прокатки; характеристики напряженно-деформированного состояния металла.

В качестве материала для моделирования процесса асимметричной прокатки была выбрана низколегированная сталь, сопротивление деформации которой описывается уравнением:

$$\sigma_s = 1530u^{0.1019} \varepsilon^{0.1344} \exp(-0.00253T), \quad (1)$$

где u – скорость деформации, c^{-1} ; ε – истинная (логарифмическая) деформация; T – температура металла, °C.

По результатам конечно-элементного моделирования в DEFORM (рис. 5, 6) показано, что чем больше толщина подката, тем при большей величине относительного обжатия происходит изменение знака кривизны переднего конца листа. Так, например, при рассогласовании окружных скоростей валков 3% знак кривизны меняется на противоположный для подката толщиной 20 мм при относительном обжатии 10%, для подката 40 мм – 17,5%, для подката 60 мм – 30%, для подката 80 мм – 31,3%. Чем больше рассогласование скоростей и меньше толщина подката, тем максимальная кривизна переднего конца листа выше.

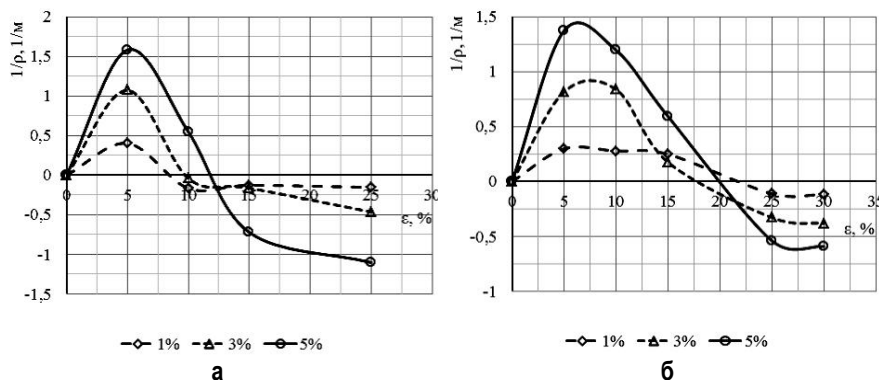


Рис. 5. Изменение кривизны переднего конца листа в зависимости от относительного обжатия при рассогласовании окружных скоростей валков 1, 3, 5% для подката толщиной 20 мм (а) и 40 мм (б)

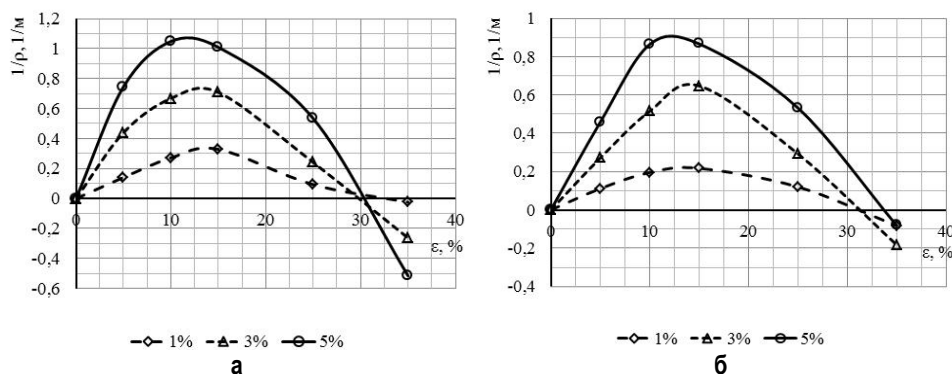


Рис. 6. Изменение кривизны переднего конца листа в зависимости от относительного обжатия при рассогласовании окружных скоростей валков 1, 3, 5% для подката толщиной 60 мм (а) и 80 мм (б)

Образование ski-эффекта сопровождается значительными пластическими деформациями (рис. 7) и напряжениями (рис. 8).

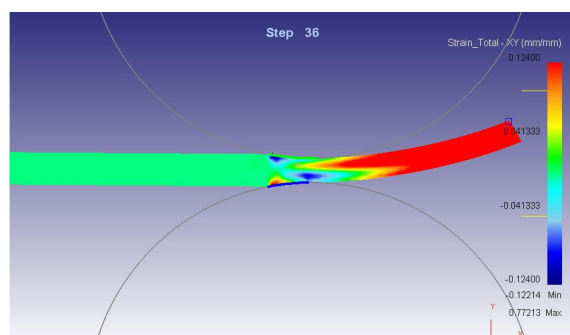


Рис. 7. Поле деформаций в очаге деформации при асимметричной прокатке

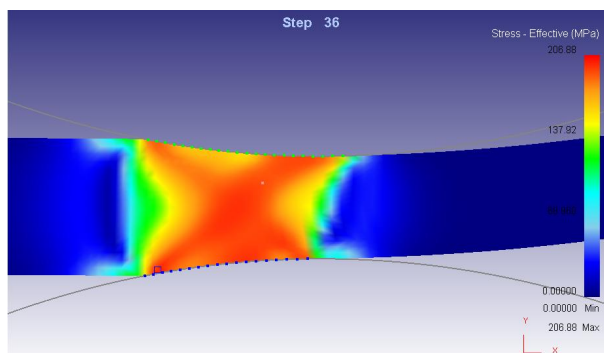


Рис. 8. Поле интенсивности напряжений в очаге деформации

При асимметричной прокатке листов толщиной более 40 мм наблюдается существенное увеличение длины дуги контакта со стороны вала, вращающегося с меньшей скоростью, при этом скорость течения металла здесь снижается.

Увеличение длины дуги контакта приводит к возрастанию контактных нормальных напряжений на этом участке и, соответственно, возрастанию силы прокатки.

Деформация металла со стороны вала, вращающегося с большей скоростью, выше (рис. 9). Удлине-

ние нижних слоев вызывает изгиб переднего конца листа в вертикальной плоскости, т.е. образование ski-эффекта.

Установлено (рис. 10), что при толщине листа менее 40 мм введение скоростной асимметрии снижает силу прокатки до 8%. Начиная с толщины листа 40 мм, увеличение разности скоростей вызывает повышение силы прокатки до 4%. Это объясняется тем, что передний конец листа под дей-

ствием скоростной асимметрии начинает изгибаться в сторону одного из валков. При увеличении разности скоростей он упирается в этот валок, при этом резко возрастает длина очага деформации, а следовательно, и усилие.

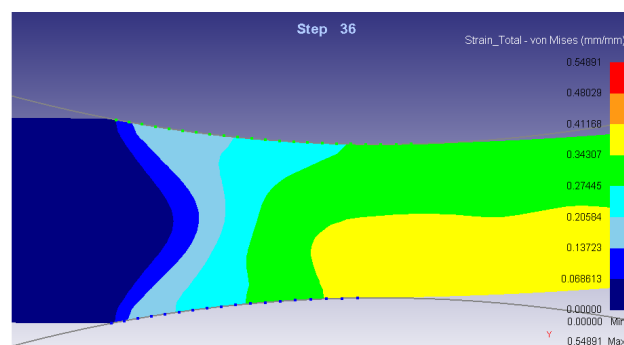


Рис. 9. Поле деформаций

Исследование совместного влияния двух факторов асимметрии проводили для следующих условий: марка стали 18G2A (аналог 17Г1С), коэффициент трения 0,3, частота вращения валков 80 об/мин, диаметр валков 970 мм. Асимметричную прокатку проводили согласно режимам, приведённым в табл. 4.

Таблица 4

Режимы прокатки

Режимы прокатки	Начальная толщина листа H_0 , мм	Относительная деформация ϵ , %	Температура, °C
1	70	25	880
2	120	20	900

Прокатку проводили с использованием следующих вариантов асимметрии: 1) применяли скоростную асимметрию (уменьшали частоту вращения верхнего вала на 10%); 2) применяли геометрическую асимметрию (уменьшали диаметр нижнего вала с 970 до 870 мм); 3) одновременно применяли два указанных выше фактора асимметрии, направленных в противоположные стороны.

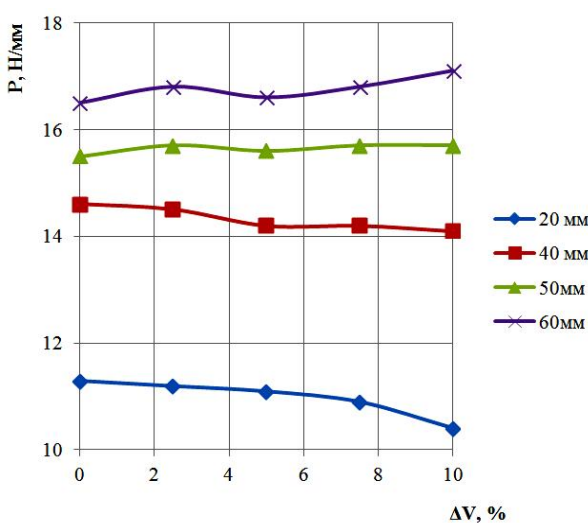
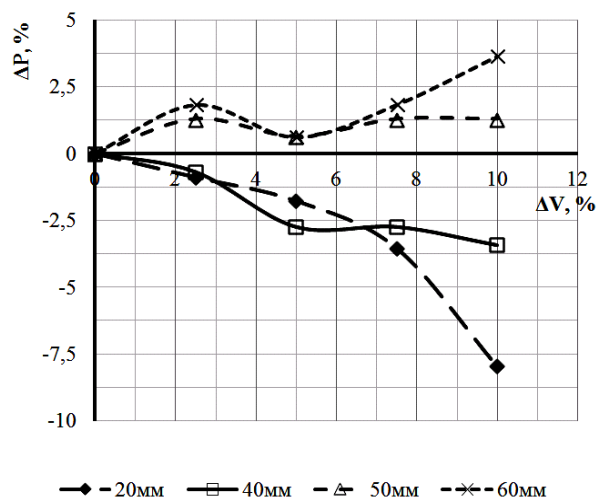


Рис. 10. Влияние уровня рассогласования скоростей валков на относительное (а) и абсолютное (б) изменение силы прокатки при деформации листов различной толщины

Получены следующие результаты. Прокатка по первому и второму вариантам не позволила существенно уменьшить усилие прокатки. В третьем варианте усилие прокатки снизилось на ~5%, а мощность прокатки на ~10%. При этом лист был получен без кризисны.

Список литературы

1. Песин А.М. Закономерности асимметричного деформирования и повышение эффективности процесса холодной листовой прокатки: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск, 1989. 21 с.
2. Салганик В.М., Песин А.М. Асимметричная тонколистовая прокатка: развитие теории, технологии и новые решения. М.: МИСиС, 1997. 192 с.
3. Песин А.М. Моделирование и развитие процессов асимметричного деформирования для повышения эффективности листовой прокатки: дис. ... д-ра техн. наук. Магнитогорск, 2003. 395 с.
4. Песин А.М. Моделирование и развитие процессов асимметричного деформирования для повышения эффективности листовой прокатки // Моделирование и развитие процессов ОМД. 2002. №1. С. 107-113.

5. Pesin A.M. Scientific school of asymmetric rolling in Magnitogorsk // Vestnik of Novos Magnitogorsk State Technical University. 2013. №5. P. 23-28.
6. Внедрение новых технологий асимметричной прокатки в ОАО «ММК» / Салганик В.М., Песин А.М., Трахтенгерц Е.Л., Дригун Э.М., Смирнов П.Н., Куницын Г.А. // Моделирование и развитие процессов ОМД. 2002. №1. С. 128-133.
7. Песин А.М., Дригун Э.М., Чикишев Д.Н. Развитие технологии совмещенного процесса прокатки и пластической гибки // Труды шестого конгресса прокатчиков. Липецк, 2005. С. 76-81.
8. Моделирование сдвиговых деформаций в предельном случае асимметричной тонколистовой прокатки / Пустовойтов Д.О., Песин А.М., Перехожих А.А., Свердлов М.К. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №1(41). С. 65-68.
9. Sverdluk M., Pesin A., Pustovoytov D., Perekhozhikh A. Numerical research of shear strain in an extreme case of asymmetric rolling // Advanced Materials Research. 2013. T. 742. С. 476-481.
10. Процессы асимметричной прокатки: теория и технологические решения: учеб. пособие / В.М. Салганик, А.М. Песин, Д.Н. Чикишев, Г.А. Бережная, Д.О. Пустовойтов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. 128 с.
11. Салганик В.М., Песин А.М., Черняховский М.Б. Математическое моделирование и развитие процессов асимметричной тонколистовой прокатки // Производство проката. 1998. №4. С. 9-15.
12. Песин А.М., Чикишев Д.Н., Блинов С.В., Пустовойтов Д.О. Устройство для асимметричной прокатки толстолистового металла: патент на полезную модель 87649 РФ. 2009.
13. Pesin A., Salganik V., Trahtengert E. Mathematical modeling of the stress-strain state in asymmetrical flattening of metal band / Proceedings of the 9th international conference on metal forming «Metal Forming 2002» (The University of Birmingham, UK, 9-11 September 2002) // Journal of Materials Processing Technology, Elsevier Science B.V., Amsterdam-London-New York-Oxford-Paris-Shannon-Tokyo. V. 125-126 (2002). P. 689-694.
14. Pesin A., Salganik V., Trahtengert E., Drigun E. Development of the asymmetric rolling theory and technology/ Proceedings of the 8-th International Conference on Metal Forming. Krakow/ Poland/ 3-7 September 2000. Metal Forming 2000. Balkema / Potterdam/ Brookfield/2000. P. 311-314.
15. Федоринов В.А. Процесс ДНПВ: теория, технология, конструкции. Краматорск: ДГМА, 2003. 316 с.
16. Потапкин В.Ф., Федоринов В.А., Сатонин А.В. Элементы оптимизации технологии деформации полос между неподвижным и приводным валками // Цветные металлы. 1983. №11. С. 56-58.
17. Потапкин В.Ф., Сатонин А.В. Запас пластичности медных сплавов при несимметричной прокатке // Цветные металлы. 1984. №1. С. 79-80.
18. Потапкин В.Ф., Сатонин А.В., Добронос Ю.К. Математическая модель механических свойств и запаса пластичности меди и медно-цинковых сплавов при холодной прокатке // Изв. вузов. Черная металлургия. 1986. №7. С. 58-61.
19. Потапкин В.Ф. Напряженно-деформированное состояние в очаге деформации при прокатке широких полос: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 1981. 32 с.
20. Федоринов В.А. Исследование и внедрение процесса холодной деформации металла между неподвижным и приводным валками: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Краматорск, 1981. 24 с.
21. Сатонин А.В. Оптимизация технологических параметров процесса деформации тонких полос между неподвижным и приводным валками и совершенствование механического оборудования для его реализации: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Краматорск, 1984. 16 с.
22. Pesin A.M., Salganik V.M., Dya H., Chikishev D.N., Pustovoytov D.O., Kawalek A. Asymmetric rolling: theory and technology // HUTNIK-WIADOMOŚCI HUTNICZE. 2012. No 5. P. 358-363.
23. Dya H., Wilk K. Asymetryczne walcowanie blach I tasm. Seria: Metallurgia Nr 2. Wydawnictwo Wydziału Metallurgii I Inżynierii Materialowej. Politechniki Czestochowskiej. Czestochowa. 1998. 268 p.
24. Dya H., Salganik W.M., Piesin A.M., Kawalek A. Asymetryczne walcowanie blach cienkich: teoria, technologia i nowe rozwiazania. Seria: Monografie nr 137. Wydawnictwo Politechniki Czestochowskiej. Czestochowa, 2008. 345 s.
25. Использование целенаправленно создаваемой скоростной асимметрии при прокатке биметалла Ti-Ni / Чукин М.В., Песин А.М., Рыдз Д., Торбус Н., Полякова М.А., Гулин А.Е. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №4. С. 49-50.
26. Использование двух факторов асимметрии при толстолистовой прокатке / Песин А.М., Дья Х., Кавалек А., Сжинский П., Пустовойтов Д.О. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №4. С. 50-51.
27. Kawalek A. Asymetryczne walcowanie blach grubych w walcowni dwuklatkowej. Seria: Monografie nr 11. Wydawnictwo Politechniki Czestochowskiej. Czestochowa, 2011. 186 s.

THE INVESTIGATION OF SPEED ASYMMETRY EFFECT ON PARAMETERS OF VARIOUS SHEET ROLLING PROCESSES

Pesin Alexander Moiseevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519)29-85-25. E-mail: pesin@bk.ru.

Satonin Alexander Vladimirovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Donbass State Machine-Building Academy, Ukraine.

Dyja Henrik – D.Sc. (Eng.), Professor, Director of the Institute of Metal Forming and Engineering Security, Czestochowa University of Technology, Poland. E-mail: dyja@wip.pcz.pl.

Kawalek Anna – Ph.D. (Eng), Associate Professor, Czestochowa University of Technology, Poland. E-mail: kawalek@wip.pcz.pl.

Pustovoytov Denis Olegovich – PhD (Eng.), Senior Lecturer, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519)29-85-25. E-mail: pustovoytov_den@mail.ru.

Szyński Paweł – Postgraduate Student, Czestochowa University of Technology, Poland. E-mail: szyinski@wp.pl.

Churukanov Alexander Sergeevich – Postgraduate Student, Donbass State Machine-Building Academy, Ukraine. E-mail: amm@dgm.a.donetsk.ua.

Abstract. The effect of speed asymmetry on the metal structure and force parameters of brass band cold rolling has been investigated. It is shown that with the speed asymmetry increasing the maximum possible summary (before cracking) reduction was increased from 64 to 79%. It was determined in plate rolling that the application of two opposing asymmetry factors permits to reduce the rolling force, as well as to provide the resulting plate without curvature.

Keywords: academic scholar, international collaboration, asymmetric rolling, metal structure, speed asymmetry, finite element modeling, stress-strain state of a metal, ski-effect.

References

1. Pesin A.M. *Zakonomernosti asimetrichnogo deformirovaniya I povyshenie effektivnosti holodnoy listovoi prokatki* [Asymmetric deformation processes laws and development for sheet cold rolling efficiency increase.]: Abstracts of PhD diss. Magnitogorsk, 1989. 21 p.
2. Salganik V.M., Pesin A.M. *Asimetrichnaya tonkolistovaya prokatka: razvitie teorii, technologii I novye reshenia* [Asymmetric sheet rolling: theory development, technologies and new solutions]. Moscow: MISIS, 1997. 192 p.
3. Pesin A.M. *Modelirovaniye I razvitie processov asimetrichnogo deformirovaniya dlya povysheniya effektivnosti listovoi prokatki*. [Asymmetric deformation processes modeling and development for sheet rolling efficiency increase.]: Dis. PhD of technical sciences. Magnitogorsk, 2003. 395 p.
4. Pesin A.M. *Modelirovaniye I razvitie processov asimetrichnogo deformirovaniya dlya povysheniya effektivnosti listovoi prokatki* [Asymmetric deformation processes modeling and development for sheet rolling efficiency increase]. *Modelirovaniye I razvitie processov OMD* [Metal Forming Processes Modeling and Development]. 2002, no. 1. pp. 107-113.
5. Pesin A.M. Scientific school of asymmetric rolling in Magnitogorsk. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2013, no. 5, pp. 23-28.
6. Salganik V.M., Pesin A.M., Trachtengertz E.L., Drigun E.M., Smirnov P.N., Kunitsin G.A. *Vnedreniye novykh technologii asimetrichnoi prokatki na OAO MMK* [Introduction of new asymmetric rolling technologies at OJSC MMK]. *Modelirovaniye I razvitie processov OMD* [Metal Forming Processes Modeling and Development]. 2002, no. 1, pp. 128-133.
7. Pesin A.M., Drigun E.M., Chikishev D.N. *Razvitie technologii sovmeshchennogo processa prokatki I plasticheskoigibki* [Development of technology of combined rolling and bending process]. *Trudy VI Congressa prokatchikov* [Proceedings of the VI Rolling Congress]. Lipetsk, 2005, pp. 76-81.
8. Pustovoytov D.O., Pesin A.M., Perehogih A.A., Sverldik M.K. *Modelirovaniye sdvigoivoy deformatsii v predelnom sluchae asimetrichnoi tonkolistovoi prokatki* [Simulation of shear strain in the extreme case of asymmetric sheet rolling]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2013, no 1, pp. 65-68.
9. Sverldik M., Pesin A., Pustovoytov D., Perekhozhikh A. Numerical research of shear strain in an extreme case of asymmetric rolling. *Advanced Materials Research*. 2013, vol. 742, pp. 476-481.
10. Salganik V.M., Pesin A.M., Chikishev D.N., Bereznaya G.A., Pustovoytov D.O. *Processy asimetrichnoi prokatki: teoriya I tekhnologicheskie reshenia* [Asymmetric rolling processes: theory and technological solutions]. Magnitogorsk: Nosov State Technical University, 2013. 128 p.
11. Salganik V.M., Pesin A.M., Chernyahovsky M.B. *Matematicheskoe modelirovaniye I razvitie processov asimetrichnoy tonkolistovoi prokatki* [Mathematical modeling and development of asymmetric thin rolling processes]. *Proizvodstvo prokata*. [Rolled Products Manufacturing]. 1998, no. 4, pp. 9-15.
12. Pesin A.M., Salganik V.M., E.M. Drigun, Chikishev D.N. *Ustroystvo dlja asimetrichnoi prokatki tololistovogo metalla* [Device for asymmetrical rolling metal plate]. Patent RF, no. 87649, 2009.
13. Pesin A., Salganik V., Trahtengertz E. *Mathematical modeling of the stress-strain state in asymmetrical flattening of metal band* / Proceedings of the 9th international conference on metal forming «Metal Forming 2002» (The University of Birmingham, UK, 9-11 September 2002). Journal of Materials Processing Technology, Elsevier Science B.V., Amsterdam-London-New York-Oxford-Paris-Shannon-Tokyo. V. 125-126. 2002. pp. 689-694.
14. Pesin A., Salganik V., Trahtengertz E., Drigun E. *Development of the asymmetric rolling theory and technology*/ Proceedings of the 8-th International Conference on Metal Forming. Krakow/ Poland/ 3-7 September 2000. Metal Forming 2000. Balkema / Potterdam/ Brookfield/2000. P. 311-314.
15. Fedorinov V.A. *Process DNPV: teoriya, tekhnologiya, konstruchy* [DNPV process: theory, technology, construction]. Kramatorsk: DSMA, 2003, 316 p.
16. Potapkin V.F., Fedorinov V.A., Satonin A.V. *Elementy optimizatsii tekhnologii deformatsii polos mezhdru nepodvizhnym I privodnym valkami*. [Elements of optimization of bands deformation between the fixed and the drive rollers technology]. *Tsvetnye metally* [Non-ferrous metals]. 1983, no. 11. pp. 56-58.
17. Potapkin V.F., Satonin A.V. *Zapasa plastichnosti mednykh spлавov pri nesymmetrichnoy prokatke*. [Copper alloys plasticity reserve at asymmetrical rolling]. *Tsvetnye metally* [Non-ferrous metals]. 1984, no. 1, pp. 79-80.
18. Potapkin V.F., Satonin A.V., Dobronosov U.K. *Matematicheskaya model mekhanicheskii svoystv I zapasa plastichnosti medi I mednozinkovykh spлавov pri holodnoy prokatke* [A mathematical model of the mechanical properties and of copper and copper-zinc alloys ductility reserves in the cold rolling]. *Izv. vuzov. Chernaya metallurgiya* [Izv. vuzov Ferrous metals]. 1986, no. 7, pp. 58-61.
19. Potapkin V.F. *Napryazhenno-deformirovannoe sostoyaniye v ochage deformatsii pri prokatke shirikih polos* [Stress-strain state in the deformation zone during rolling wide strips]. Abstracts of D.Sc. diss. Moscow, 1981, 32 p.
20. Fedorinov V.A. *Issledovaniye I vnedreniye processa holodnoi deformatsii metalla mezhdru nepodvizhnym I privodnym valkami* [Research and introduction of cold metal deformation between the fixed and the drive rollers]: Abstracts of PhD diss. Kramatorsk, 1981, 24 p.
21. Satonin A.V. *Optimizatsiya tekhnologicheskikh parametrov processa deformatsii tonkikh polos mezhdru nepodvizhnym I privodnym valkami I sovershenstvovaniye mekhanicheskogo oborudovaniya dlya ego realizatsii*. [Optimization of technological parameters of deformation of thin strips between the fixed and the drive rolls and improvement of mechanical equipment for its implementation]: Abstracts of PhD diss. Kramatorsk, 1984, 16 c.
22. Pesin A.M., Salganik V.M., Dyja H., Chikishev D.N., Pustovoytov D.O., Kawalek A. *Asymmetric rolling: theory and technology*. HUTNIK-WIADOMOŚCI HUTNICZE. 2012. No 5. P. 358-363.
23. Dyja H., Wilk K. *Asymetryczne walcowanie blach I tasm*. Seria: Metallurgia Nr 2. Wydawnictwo Wydziału Metallurgii I Inżynierii Materialowej. Politechniki Czestochowskiej. Czestochowa, 1998. 268 p.
24. Dyja H., Salganik W.M., Pesin A.M., Kawalek A. *Asymetryczne walcowanie blach cienkich: teoriya, tekhnologiya i nowe rozwiazania*. Seria: Monografie nr 137. Wydawnictwo Politechniki Czestochowskiej. Czestochowa, 2008. 345 p.
25. Chukin M.V., Pesin A.M., Rydz D., Torbus N., Polyakova M., Gulin A.E. *Ispolzovaniye tselenapravlenno sozdavaemoi skorostnoy asimetrii pri prokatke bimetalu TI-NI* [Using a purposefully created speed asymmetry in the rolling of bimetal TI-NI]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2013, no. 4, pp. 49-50.
26. Pesin A.M., Dyja H., Kawalek A., Szyński P., Pustovoytov D.O., Ispolzovaniye dveh faktorov asimetrii pri tololistovoi prokatke. [Using two factors asymmetry in plate rolling]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2013, no. 4, P. 50-51.
27. Kawalek A. *Asymetryczne walcowanie blach grubych w walcowni dwuklatkowej*. Seria: Monografie nr 11. Wydawnictwo Politechniki Czestochowskiej. Czestochowa, 2011. 186 p.

От редакции

Научная школа Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И.Носова «Разработка и развитие теории квалиметрии и управления качеством продукции и производственных процессов» берет свое начало с фундаментальных работ 1981 г. Г.С. Гуна и Г.Ш. Рубина по оценке качества продукции на основе формальной логики. В дальнейшем методы квалиметрии развивались в работах других учёных магнитогорской школы: М.В. Чукина, В.М. Салганика, И.Г. Гуна, И.Ю. Мезина, О.Н. Тулупова, А.Г. Корчунова, И.А. Михайловского, А.Б. Моллера и их учеников. Наряду со специальными вопросами оценки качества металлоизделий и различного вида проката развивались и общие методы квалиметрии – такие как методы структурирования свойств изделий, методы свёртки и др. Авторы этих работ исследовали как методы оценки качества изделий, так и методы оценки технологических процессов их производства. Стараниями магнитогорских ученых сформировалась самостоятельная отрасль квалиметрии – квалиметрия металлургического производства. Позднее проведен цикл работ по квалиметрии совместно с учеными Польши, Украины и Казахстана.

УДК 621.778

ГЕНЕЗИС НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ

Гун Г.С.¹, Мезин И.Ю.¹, Рубин Г.Ш.¹, Минаев А.А.², Назайбеков А.Б.³, Дья Х.⁴

¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

² Донецкий национальный технический университет, Украина

³ Рудненский индустриальный институт, Казахстан

⁴ Ченстоховский технологический университет, Польша

Аннотация. Развитие отечественной школы количественных методов измерения качества – квалиметрии продолжается уже на протяжении более 30 лет. В настоящее время сложился ряд центров исследований по проблемам квалиметрии в России, Казахстане, Украине. Усилиями исследователей этих центров сформировался обширный подраздел квалиметрии – квалиметрия чёрной металлургии. Активно развиваются исследования по квалиметрии металлургии в Магнитогорском государственном техническом университете. Плодотворной основой для исследований в области качества является проводящаяся с 1997 г. подготовка инженеров, а в настоящее время бакалавров и магистров по специальности «Стандартизация и сертификация», а также работа докторантуры и деятельность диссертационного совета по специальности «Стандартизация и управление качеством (в металлургии)». Наряду с конкретными прикладными разработками по оценке качества продукции и процессов в чёрной металлургии здесь были получены и важные результаты по специальной и общей квалиметрии. Они касаются методов структурирования свойств, их градации по категориям влияния на комплексную оценку, дифференцированный подход к оценке качества на разных стадиях жизненного цикла продукции.

Ключевые слова: квалиметрия, металлопродукция, качество, доминирующие показатели, компенсируемые показатели, жизненный цикл изделия, функционально-целевой анализ.

Введение

Переход отечественных предприятий на международные стандарты, в связи со вступлением Российской Федерации во Всемирную торговую организацию, подразумевает создание и совершенствование эффективно действующих систем по обеспечению и управлению качеством продукции и услуг, а также интеграцию российских стандартов в международную систему стандартизации. В Магнитогорском государственном техническом университете (МГТУ) на протяжении нескольких десятков лет накоплен научный потенциал в области разработки и развития вопросов управления качеством. Решение проблем интеграционного взаимодействия Российской Федерации с международным сообществом неосуществимо без участия в нем специалистов в области метрологии, стандартизации, менеджмента качества в производственных системах. Отсутствие либо нехватка таких специалистов отрицательно отражается на конкурентоспособности товаров и услуг, производимых отечественными предприятиями. Одним из путей решения

указанных проблем является создание и развитие в МГТУ научно-педагогической школы «Разработка и развитие теории квалиметрии и управления качеством продукции и производственных процессов».

Учитывая потребности отечественной промышленности и возможности для расширения спектра специальностей и научных направлений, действующих в вузе, в 1997 году начата подготовка инженеров по специальности «Стандартизация и сертификация», в 2004 году – бакалавров, а в 2009 – магистров по направлению «Метрология, стандартизация и сертификация», в 2003 году открыта научная специальность 05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции, а позднее, в 2009 г. – докторантура по этой специальности.

Начало 21 века стало для МГТУ периодом активного роста научного потенциала, увеличения количества научных работ. Особенно активное развитие получил комплекс работ по стандартизацию и качеству. Убедительным свидетельством успешного развития этого направления исследований в Магнитогорском

государственном техническом университете им. Г.И. Носова является работа диссертационного совета Д 212.111.05, в котором менее чем за десять лет защищено 5 докторских и более 20 кандидатских диссертаций по специальности «Стандартизация и управление качеством продукции (в металлургии)». Соответственно растёт научная, образовательная и публикационная активность по этому направлению.

Следует отметить, что к настоящему времени (наряду с МГТУ) в России и странах ближнего зарубежья сложился ряд научных школ, активно работающих в области качества в черной металлургии. Обобщенная структурно-логическая схема проводимых исследований в области квалиметрии представлена на рис. 1.



Рис. 1. Логическая схема исследований в области квалиметрии

Первые работы по квалиметрии металлургического производства принадлежат Г.С. Гуну и Г.Ш. Рубину [1, 2]. В дальнейшем методы квалиметрии развивались в работах других учёных магнитогорской школы: М.В. Чукина, В.М. Салганика, И.Г. Гуна, И.Ю. Мезина, О.Н. Тулупова, А.Г. Корчунова, И.А. Михайловского, А.Б. Моллера [3-8] и их учеников. Наряду со специальными вопросами оценки качества металлоизделий и различного вида проката в упомянутых работах развивались и общие методы квалиметрии, такие как методы структурирования свойств изделий, методы свёртки и др. Авторы этих работ исследовали как методы оценки качества изделий, так и методы оценки технологических процессов их производства. Таким образом, сформировалась самостоятельная отрасль квалиметрии – квалиметрия металлургического производства.

Развитие квалиметрии металлопродукции

Основные положения квалиметрии, ставшие уже классическими, изложены в монографиях [9, 10]. Эти положения описывают этапы разработки комплексной оценки качества объекта. Более поздние исследования [5, 11] были посвящены разработке комплексной оценки конкретных объектов, разработке математических

моделей, раскрывающих понятие «качество» и дающих логический фундамент для этого понятия. Одним из наиболее существенных результатов этих исследований стало ранжирование свойств по статусу на доминирующие и компенсируемые [1], а также разработка ряда вычислительных формул, отражающих этот статус свойств [1, 5]. По предложенной в этих работах терминологии, доминирующие – это свойства, нулевая оценка которых приводит к нулевой комплексной оценке всех свойств данного уровня. Компенсируемые – свойства, оценка которых повышает или понижает комплексную оценку свойств одного уровня, но не может обратить её в ноль. По распространённой терминологии доминирующие – это свойства, обладающие ролью «вето». Таким образом, частично решалась проблема определения количественной оценки значимости свойств (весомостей) оцениваемого объекта.

Несмотря на то, что в ранних работах по квалиметрии предлагалось несколько способов определения весомостей свойств, в исследованиях по оценке качества металлургических процессов и продукции металлургии [4, 5, 7] преобладал экспертный метод. Альтернативные методы – статистический и экономический, как правило, было невозможно применить. Это связано с объективным отсутствием необходимой информации или чрезвычайной трудоёмкостью её получения.

Одним из важных направлений современного исследования является совершенствование методов структурирования свойств металлопродукции на основе анализа потребительских функций [12]. Рассматривая функции изделий, были определены их характерные особенности. Для технических материальных объектов сформулировано понятие функции следующим образом: функция – это передача действия, т.е. обеспечение взаимодействия или предотвращение взаимодействия.

Данное определение понятия «Функция» позволяет конкретизировать понятие «Свойство». Свойство – неотъемлемая особенность объекта, присущая ему независимо от взаимодействия с другими объектами. С точки зрения функционального подхода, свойство – способность обеспечивать некоторую функцию, т.е. способность передавать взаимодействие или препятствовать его передаче.

Другой особенностью современного подхода к оценке качества является локализация и структурирование временного интервала существования оцениваемого объекта. Жизненный цикл изделия (ЖЦИ), как определяет его стандарт ISO 9004, – это совокупность процессов, выполняемых от момента выявления потребностей общества в определенной продукции до момента удовлетворения этих потребностей и утилизации продукта. Таким образом, жизненный цикл – весь временной период, когда вообще существует понятие данного изделия.

В квалиметрии изделие исследуется в более короткий период времени, чем весь его жизненный цикл. Поэтому необходимо однозначно определить этот период. В исследованиях более мелкие периоды времени, чем жизненный цикл, называют стадиями жизненного цикла. Во всех стандартах на изделия и регламентирующих правилах приёмки и испытания речь идёт о свойствах изделия, обретаемых после завершения технологического процесса.

Для целей оценивания продукции необходимо рассматривать промежуток времени, начинающийся с обретением изделия всех характерных для него свойств. Это происходит в момент завершения изготовления и упаковки, т.е. в момент, когда прекращается активное воздействие на продукт с целью изменения его свойств. Окончанием временного отрезка оценивания предложено считать момент достижения состояния, когда в результате износа невозможна эксплуатация изделия в соответствии с его назначением, т.е. изделие бесполезно для потребителя. Этот период времени назван потребительской фазой изделия.

Потребительская фаза изделия неоднородна и включает несколько стадий (этапов) жизненного цикла изделия. Предложено выделять эти стадии, придерживаясь продекларированного функционального принципа. В соответствии с этим первой стадией является транспортировка изделия к месту потребления. Таким образом, первая стадия потребительской фазы – транспортная. Следующая фаза – приведение изделия в рабочее состояние (завинчивание болтов, винтов, гаек, навеска каната, установка сетки в рабочее устройство и т.д.). Эту фазу предложено было назвать монтажной. Третья стадия потребительской фазы – эксплуатационная. В этой стадии реализуются основные потребительские свойства изделия, например прочность на разрыв крепежного изделия, абразивная стойкость канатов в скважинах, классификация вещества (сетка) и др.

На основе понятия потребительской фазы введено конструктивное определение качества продукции: **качество – это степень выполнения трёх функций изделия – транспортной, монтажной и эксплуатационной.** Мы называем это определение конструктивным, т.к. указание конкретных функций определяет путь дальнейшего исследования структуры качества, т.е. свойств, обеспечивающих выполнение соответствующих функций. Следует отметить, что в отличие от ставшей классической древовидной структуры комплексного качества изделия [13] при предложенном подходе возможна сетевая структура, поскольку одно и то же свойство может обеспечивать несколько функций. Количество функций, на которые влияет данное свойство, предложено считать его «важностью». При этом исчезает потребность определять

количественную оценку важности – весомость. Она определяется самой структурой комплексного качества. Пример такого структурирования качества продукции применительно к геофизическим кабелям изображен на рис. 2.

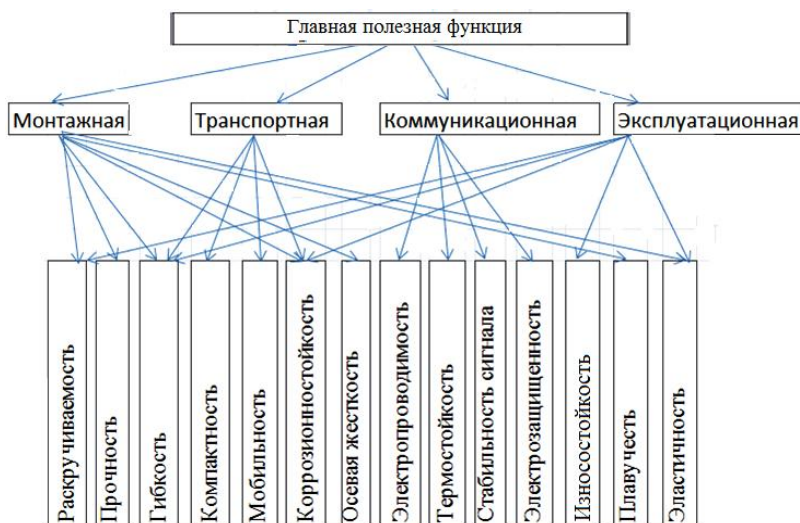


Рис. 2. Структура свойств геофизического кабеля

Совокупность методов анализа качества изделий на основе исследования функций изделия на протяжении его потребительской фазы названа функционально-целевым анализом.

Наряду с развитием работ в области качества, основанных на комплексных и групповых оценках уровня потребительских свойств и эффективности процессов производства продукции, получили развитие работы, основанные на новых теоретических подходах и технологических методах повышения результативности производства. К числу таких работ следует отнести: Создание и развитие понятийного аппарата и теории стандартизации в металлургии (М.В. Чукин, М.А. Полякова, Г.Ш. Рубин, Г.С. Гун); Развитие основных принципов и прикладных методик оценки и управления качеством в металлургии на основе холистического подхода и системного анализа (Г.Ш. Рубин, Г.С. Гун); Разработка теории экономики качества в производстве автокомпонентов (И.Г. Гун, В.И. Куцендик, Д.С. Осипов); Разработка неклассических подходов к анализу процессов формирования эксплуатационных свойств металлоизделий и управления качеством (Г.С. Гун, Г.Ш. Рубин, И.Ю. Мезин); Развитие методологии управления качеством продукции в технологиях металлургии в условиях неопределенности (А.Г. Корчунов); Управление качеством металлопродукции на основе принципов технологической адаптации (М.В. Чукин, Э.М. Голубчик); Развитие методологии расчета результативности процессов (Г.С. Гун, И.А. Михайловский, Г.Ш. Рубин, А.Б. Моллер).

Заключение

В течение последних лет в научной области управления качеством металлопродукции получены

существенные научные и практические результаты, развивающие квалиметрию как самостоятельную научную дисциплину:

– к методологической основы исследования структуры качества металлических изделий и технологических процессов их производства;

– осуществлено развитие системного подхода к оценке качества объектов и процессов, на основе которого определён комплекс требований к операции свёртки оценок качества; введено понятие «акселерация оценок при свёртке», отражающее свойство эмерджентности в системах свойств изделий и процессов, дано его математическое определение; предложены функции свёртки, удовлетворяющие комплексу требований конкретных типов металлопродукции;

– разработан процессный подход к оценке результативности технологического процесса, который включает в себя: новое понятие результативности как анализа пооперационного достижения цели процесса; понятия локальной и глобальной результативности операции и процесса, означающие степень использования потенциала отдельных операций для формирования определённого свойства продукции, а также методы расчёта локальной, глобальной и комплексной результативности технологического процесса;

– предложена модель многооперационного технологического процесса как суперпозиция нечётких отображений показателей качества изделия. Это позволило предложить метод оценки требований к исходной заготовке, обеспечивающий получение заданных показателей качества готовой продукции;

– разработан метод факторного анализа качества изделий и процессов, позволяющий оценивать потенциальные возможности отдельных свойств для повышения комплексного качества. Такой подход, наряду с функциональным анализом, раскрывает возможности квалиметрии не только как метода синтеза простейших свойств в комплексное, но и как метода анализа комплексного свойства.

Представленные научные положения и методы являются методологической основой для разработки эффективных методик оценки и управления качеством металлопродукции и процессов их производства. Все они носят общесистемный характер, что подтверждается их использованием для разработки

методик в различных областях применения, например для оценки качества проката, метизной продукции, автокомпонентов, образовательных систем [2, 13-18].

Список литературы

1. Рубин Г.Ш., Гун Г.С. Логические законы оценки качества продукции. Магнитогорск, 1981. 23 с. Деп. в ВИНТИ 19.09.1981, №4105-81 В.
2. Гун Г.С. Управление качеством высокоточных профилей. М.: Металлургия, 1984. 152 с.
3. Metallurgy qualimetry theory design and development / Gun G.S., Rubin G.Sh., Chukin M.V., Gun I.G., Mezin I.U., Korchnov A.G. // Vestnik of Novosibirsk State Technical University. 2013. №5. P. 67-70.
4. Квалиметрическая оценка производства автомобильного крепежа: монография / Д.М. Закиров, Г.Ш. Рубин, И.Ю. Мезин, А.В. Сабадаш, С.П. Васильев, В.В. Чукин, С.С. Скворцова. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. 158 с.
5. Комплексная оценка эффективности процессов производства шаровых пальцев / И.Г. Гун, Г.Ш. Рубин, В.В. Сальников, В.И. Артюхин, Ю.В. Калмыков, П.Е. Левченко. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. 133 с.
6. Управление качеством продукции в технологиях метизного производства: монография / А.Г. Корчунов, М.В. Чукин, Г.С. Гун, М.А. Полякова. М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2012. 164 с.
7. Управление качеством при производстве шипов противоскольжения: монография / Д.М. Закиров, Г.Ш. Рубин, И.Ю. Мезин, Т.Ш. Галиахметов, В.В. Андреев. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. 114 с.
8. Гун И.Г., Михайловский И.А., Осипов Д.С. Квалиметрическая оценка и повышение результативности сквозной технологии и системы менеджмента качества производства шаровых пальцев: монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. 147 с.
9. Азгальдов Г.Г. Потребительская стоимость и её измерение. М.: Экономика, 1971. 167 с.
10. Азгальдов Г.Г., Райхман Э.П. О квалиметрии. М.: Стандарты, 1972. 172 с.
11. Методологический подход к управлению качеством метизной продукции: основанный на нечетких множествах / Г.Ш. Рубин, Ф.Т. Вахитова, В.Н. Лебедев, Е.Н. Гусева, А.А. Шишов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. №4. С. 50-53.
12. Рубин Г.Ш. Квалиметрия метизного производства: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. 167 с.
13. Рубин Г.Ш., Камалутдинов И.М. Функциональный анализ структуры свойств геофизического кабеля // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. №2. С. 67-69.
14. Квалиметрическая оценка производственных процессов изготовления металлоизделий / И.Ю. Мезин, Е.С. Яковлева, Е.Г. Касаткина, В.И. Куцелендик // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. №2. С. 67-69.
15. Разработка теории квалиметрии метизного производства / Г.Ш. Рубин, М.В. Чукин, Г.С. Гун, Д.М. Закиров, И.Г. Гун // Черные металлы. 2012. №6. С. 15-20.
16. Протипология – новый этап развития стандартизации метизного производства / Г.Ш. Рубин, М.А. Полякова, М.В. Чукин, Г.С. Гун // Сталь. 2013. №10. С. 84-87.
17. Гун Г.С., Чукин М.В., Рубин Г.Ш. Управление качеством в метизном производстве // Металлургические процессы и оборудование. 2013. №4(34). С. 106-112.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE RESEARCH GENESIS IN THE FIELD OF METAL PRODUCTS QUALITY

Gun Gennadij Semenovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Advisor to the Rector, Novosibirsk State Technical University, Russia.

Mezin Igor Yurjevitch – D.Sc. (Eng.), Professor, Head of Standardization, Chemistry and Bioengineering Faculty, Novosibirsk State Technical University, Russia.

Rubin Gennadiy Shmulyevich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Novosibirsk State Technical University, Russia. E-mail: rubingsh@gmail.com.

Minayev Aleksander Anatolyevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Rector of Donetsk National Technical University, Ukraine. E-mail: tssa@magtu.ru.

Nazaybekov Abdrakhman Batyrbekovich – Academician, D.Sc. (Eng.), Professor, Rector of Rudny Industrial Institute, Kazakhstan. E-mail: rector@rii.kz.

Dyja Henrik – D.Sc. (Eng.), Professor, Director of the Institute of Metal Forming and Engineering Security, Czestochowa University of Technology, Poland. E-mail: dyja@wip.pcz.pl.

Abstract. The national school of quantitative methods in quality measuring - qualimetry has been developing for over 30 years. There is a number of research centres on qualimetry issues in Russia, Kazakhstan and Ukraine. The researchers of these centres made all efforts to form qualimetry extensive subsection – ferrous metallurgy qualimetry. The research on metallurgy qualimetry has been actively developing at Magnitogorsk State Technical University. Training of engineers since 1997 and at present Bachelors and Masters in «Standardization and Certification», as well as the work and activities of Doctoral Dissertation Council on specialty «Standardization and Quality Management» (in metallurgy) are fruitful base for research in the field of quality. Along with specific engineering developments on quality evaluation of products and processes in the ferrous metallurgy important results in the special and general qualimetry were obtained. They concern the methods of properties structuring, their graduation according to the Category of influence on integrated assessment, varied approach to quality evaluation at different stages of the product life cycle.

Keywords: qualimetry, metal products, quality, dominating indicators, compensable indicators, product life cycle, functional and objective analysis.

References

- Rubin G. Sh., Gun G.S. *Logicheskie zakony otsenki kachestva produktsii* [Logical rules of product quality rating]. Magnitogorsk, 1981. 23 p. Deposited by VINITI 19.09.1981, № 4105-81 B.
- Gun G. S. *Upravlenie kachestvom vysokotochnykh profiley* [Quality management of high-precision profiles]. Moscow: Metallurgy, 1984, 152 p.
- Gun G.S., Rubin G. Sh., Chukin M.V., Gun I.G., Mezin I.U. Korchunov A.G. Metallurgy qualimetry theory design and development. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2013, no. 5, pp. 67-70.
- Zakirov D. M., Rubin G. Sh., Mezin I. Yu. et al. *Kvalimetriceskaya otsenka proizvodstva avtomobilnogo krepzha : monografiya* [Quality control estimation of automobile hardware production : monography]. Magnitogorsk : Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2007, 158 p.
- Gun I. G., Rubin G. Sh., Salnikov V.V. *Kompleksnaya otsenka effektivnosti protsessov proizvodstva sharovykh paltsev* [Complex efficiency evaluation of production processes of ball pins]. Magnitogorsk : Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2008. 133 p.
- Korchunov A.G., Chukin M.V., Gun G.S., Polyakova M.A. *Upravlenie kachestvom produktsii v tekhnologiyah metiznogo proizvodstva: monografiya* [Product quality management in hardware production technologies: monograph]. Moscow: Publishing House «Ore and Metals», 2012, 164 p.
- Zakirov D.M., Rubin G.Sh., Mezin I.Yu., Galiakhmetov T.Sh., Andreyev V.V. *Upravleniye kachestvom pri proizvodstve shipov protivoskol'zheniya: monografiya*. [Quality control in the manufacture of anti-sliding motion studs: monograph]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2008, 114.
- Gun I.G., Mikhailovsky I.A., Osipov D.S. *Kvalimetriceskaya otsenka i povysheniye rezul'tativnosti skvoznoy tekhnologii i sistemy menedzhmenta kachestva proizvodstva sharovykh paltsev: monografiya* [Qualimetric assessment and enhanced efficiency through technology and quality management system production ball joints: monograph]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2008, 147 p.
- Azgal'dov G.G. *Potrebitel'skaya stoimost' i yeyo izmereniye*. [Use value and its measurement]. M: Economics, 1971. 167 p.
- Azgal'dov G.G., Raykhan E.P. *O kvalimetrii* [About qualimetry]. Moscow: Standards, 1972, 172 p.
- Rubin G.Sh., Vakhitova F.T., Lebedev V.N., Guseva Ye.N., Shishov A.A. Metodologicheskiy podkhod k upravleniyu kachestvom metiznoy produktsii, osnovanny na nechetkikh mnozhestvakh. [Methodological approach to hardware products quality management based on fuzzy sets]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2009, no. 4, pp. 50-53.
- Rubin G.Sh. *Kvalimetriya metiznogo proizvodstva* [Qualimetry of hardware production] Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2012, 167 p.
- Rubin G.SH., Kamalutdinov I.M. Funktsional'nyy analiz struktury svoystv geofizicheskogo kabelya. [Functional analysis of the structure properties of geophysical cable]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2010, no. 1, pp. 70-71.
- Mezin I.Yu., Yakovleva Ye.S., Kasatkina Ye.G., Kutsependik V.I. Kvalimetriceskaya otsenka proizvodstvennykh protsessov izgotovleniya metallozdelyi. [Qualimetric assessment of manufacturing processes of manufacture of metal]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2010, no. 2, pp. 67-69.
- Rubin G.Sh., Chukin M.V., Gun G.S., Zakirov D.M., Gun I.G. Razrabotka teorii kvalimetrii metiznogo proizvodstva. [Development of the theory of hardware production qualimetry. *Chemyye metally*. [Ferrous metals]. 2012, no. 6, pp. 15-20.
- Rubin G.S., Polyakova M.A., Chukin M.V., Gun G.S. Prototypologiya – a new stage of development of standardization metalware production. *Stal' [Steel]*, 2013, no. 10, pp. 84-87.
- Gun G.S., Chukin M.V., Rubin G.SH. Upravleniye kachestvom v metiznom proizvodstve. [Quality management in hardware production]. *Metallurgicheskiye protsessy i oborudovaniye*. [Metallurgical processes and equipment]. 2013, no. 4 (34). pp. 106-112.

От редакции

При всей практической значимости развитию научных основ стандартизации в мировой науке не уделяется должного внимания. На базе сложившихся научных направлений в МГТУ им. Г.И. Носова в последнее время активно развивается совершенно новая научная теория стандартизации – протипология, разработанная магнитогорскими учеными Рубиным Г.Ш., Гуном Г.С., Чукиным М.В., Поляковой М.А. В основе предложенной теории лежит принцип использования научного обоснования содержащихся в стандартах требований, согласования требований потребителей и производителей продукции, упорядочения информации и систематизации нормативно-технической документации в области стандартизации. Такой подход способствует скорейшему внедрению результатов научных исследований в действующее промышленное производство.

УДК 006.013:621.778

РАЗВИТИЕ НАУЧНЫХ ОСНОВ СТАНДАРТИЗАЦИИ

Рубин Г.Ш., Полякова М.А.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

Аннотация. На основании проведенного анализа современного состояния стандартизации установлено, что в настоящее время отсутствуют научные основы стандартизации. Это сдерживает быстрое внедрение современных достижений науки в действующее производство. Отмечается, что назрела острая необходимость разработки принципиально новых подходов согласования требований потребителей и возможностей производителей при создании различных видов нормативно-технической документации. В работе обосновано применение функционально-целевого подхода для выявления связей потребительских функций и свойств изделия. Предлагается использовать термин «протипология» для обозначения науки о стандартизации. Предметом данной науки является разработка методов согласования требований потребителя и возможностей изготовителя продукции. Согласно протипологии этапами разработки стандартов являются разработка требований потребителя как набора свойств и характеризующих их измеряемых показателей; установление соответствия между потребительскими свойствами и свойствами изделия, контролируемые изготовителем продукции; максимальное сближение позиций изготовителя и потребителя и разработка стандарта как оптимального компромисса позиций сторон. С этой точки зрения основными задачами для стандартизации в области металлургического производства являются упорядочение информации в нормативно-технических документах (систематизация); унификация количества нормативно-технических документов на определенный вид продукции; разработка методических основ с учетом внедрения инноваций и модернизации металлургического производства.

Ключевые слова: стандартизация, научные основы, свойства продукции, требования потребителя, производитель продукции, согласование, функционально-целевой анализ, протипология, металлургическое производство.

Введение

Повышение качества продукции является важным фактором, определяющим конкурентоспособность продукции. Это обеспечивается путем выстраивания надежных отношений между потребителями и производителями. Особую актуальность приобретают проблемы повышения качества продукции на современном этапе интеграции российской экономики в мировое экономическое пространство. Это требует решения ряда задач, среди которых совершенствование системы стандартизации на всех уровнях производственных отношений. С одной стороны, производство продукции неизбежно регламентируется определенными нормами и правилами, закрепленными в стандартах. В своем историческом развитии стандартизация претерпела разительные изменения. К настоящему времени накоплен багаж знаний, разработаны принципы и методы стандартизации, нормативная база стандартизации насчитывает сотни нормативных документов. Однако, следует отметить отсутствие научных основ стандартизации, зачастую нормы, регламентируемые в стандартах, не соответствуют современному уровню развития техники и технологий,

разработка, принятие и утверждение стандартов занимает довольно длительный промежуток времени, практически не действует заявляемый принцип опережающей стандартизации. Все это сдерживает быстрое внедрение современных достижений науки в действующее производство. В связи с этим в настоящее время назрела острая необходимость разработки принципиально новых подходов согласования требований потребителей и возможностей производителей при создании различных видов нормативно-технической документации.

Теоретические аспекты проблемы

Одним из ключевых понятий в области стандартизации является определение, что такое «стандартизация». Проведенный анализ показал, что в настоящее время термин «стандартизация» имеет различные толкования. Так, в Федеральном законе «О техническом регулировании» определение стандартизации следующее: «Стандартизация – деятельность по установлению правил и характеристик в целях их добровольного многократного использования, направленная на достижение упорядоченности в сферах производства и обращения продукции и повышение конку-

рентоспособности продукции, работ и услуг» [1]. В национальном стандарте Российской Федерации ГОСТ Р 1.12 – 2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Термины и определения» термин «российская национальная стандартизация» интерпретируется аналогично определению «стандартизация», указанному в Федеральном законе. Кроме того, существуют и другие определения данного понятия, в которых в той или иной степени отражаются различные стороны этой многогранной области деятельности. Здесь следует отметить работы В.В. Бойцова, В.М. Постыки, В.В. Ткаченко, Т.И. Зворыкиной и др.

Это является отражением сложившейся в настоящее время в области стандартизации ситуации: отсутствие не только однозначного определения понятия «стандартизация», но и единого понимания принципов и методов стандартизации, что свидетельствует об отсутствии системности и упорядоченности в данной области знаний. В работе [2] отмечается, что «науку составляют знания, логически соединенные в систему и проникнутые определенной идеей». Несмотря на огромный опыт практического применения стандартизации, как было ранее отмечено, пока нет систематизации знаний о научных основах стандартизации. Таким образом, одним из важнейших условий развития стандартизации является дальнейшая разработка ее научных основ, решение большого числа крупных и сложных теоретических проблем технического, экономического, социального и правового характера, определяющих стандартизацию как науку.

Главной целью теории стандартизации является исследование роли и задач стандартизации в обеспечении научно-технического и социально-экономического развития страны. Совершенствование теоретических основ стандартизации необходимо, чтобы быстрее и с меньшими ошибками формировать требования к продукции, работам, услугам, являющимся товарами повседневного спроса. Научные основы стандартизации, базируясь на системном подходе, включают комплексную, перспективную и опережающую стандартизации, а также стандартизацию параметров.

В настоящее время любой стандарт – это результат согласования мнений всех заинтересованных в этом документе сторон (пользователей): производителей, потребителей, общественных организаций в результате переговоров. При этом следует учитывать, что любая продукция, с одной стороны, обладает присущими только ей свойствами, с другой – предназначена для выполнения определенных потребительских функций. Свойства изделия обеспечиваются в ходе осуществления технологического процесса ее производства из конкретного материала в конкретных производственных условиях на имеющемся у производителя оборудовании. Потребительские функции определяются либо условиями эксплуатации изделия, либо потребителем продукции. В зависимости от вида изделия связь между свойствами изделия и потребительскими функциями далеко неоднозначная (рис. 1). Связь между свойствами изделия и его потребительскими функциями можно представить в виде матрицы согласования (рис. 2).

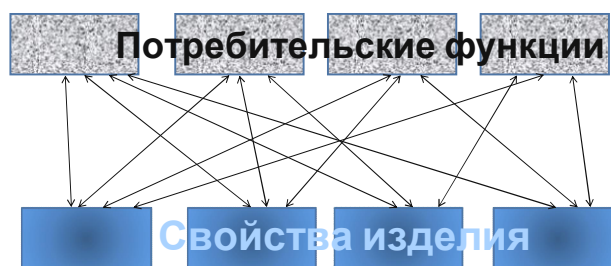


Рис. 1. Взаимосвязь потребительских функций и свойств изделия

Каждая из сторон (потребитель и производитель), заинтересованная в утверждении и внедрении нормативного документа, отстаивает, прежде всего, свои интересы в процессе разработки стандарта, поэтому процесс разработки, согласования и принятия стандарта занимает достаточно долгое время. С другой стороны, отсутствие единой методологической основы для разработки стандартов и научного обоснования регламентируемых ими показателей приводит к значительным временным затратам, отсутствию упорядочения и систематизации требований заинтересованных сторон и, как результат, неоправданно большому количеству различных видов нормативных документов на один и тот же вид продукции [3, 4].

Матрица согласования

	Потребительские функции			
Свойства изделия	+	+	+	
			+	
	+	+	+	
			+	+

Рис. 2. Матрица согласования потребительских функций и свойств изделия

Исходя из этого, на пути развития научных основ стандартизации необходимо решить задачу разработки методов трансформации потребительских свойств изделия в нормируемые показатели изготовителя. Одним из перспективных на этом пути наряду с методами QFD является метод функционально-целевого анализа, сформулированной в монографии [2]. Тогда сближение позиций потребителя и изготовителя можно будет сформулировать как задачу оптимизации в пространстве свойств изделий с комплексной оценкой качества в качестве целевой функции.

Рассмотрим применение данного подхода на примере геофизического кабеля. Геофизические кабели предназначены для спуска и подъема приборов при

проведении геофизических исследований, прострелочно-взрывных работах, а также для отбора проб и образцов горных пород в скважинах, заполненных жидкостью или газом различной плотности, состава, температуры и давления. Жилы и броню кабеля используют в качестве линий связи. По кабелю подают питание к скважинным приборам и передают измеряемые сигналы в наземную измерительную аппаратуру, где они регистрируются. Кабель применяют в качестве измерительного инструмента для определения глубины нахождения приборов в скважине. В соответствии с назначением и условиями эксплуатации геофизические кабели должны обладать определенными свойствами (рис. 3): высокой механической прочностью, гибкостью и минимальным удлинением, малым электрическим сопротивлением токопроводящих жил, высоким сопротивлением изоляции жил [5].

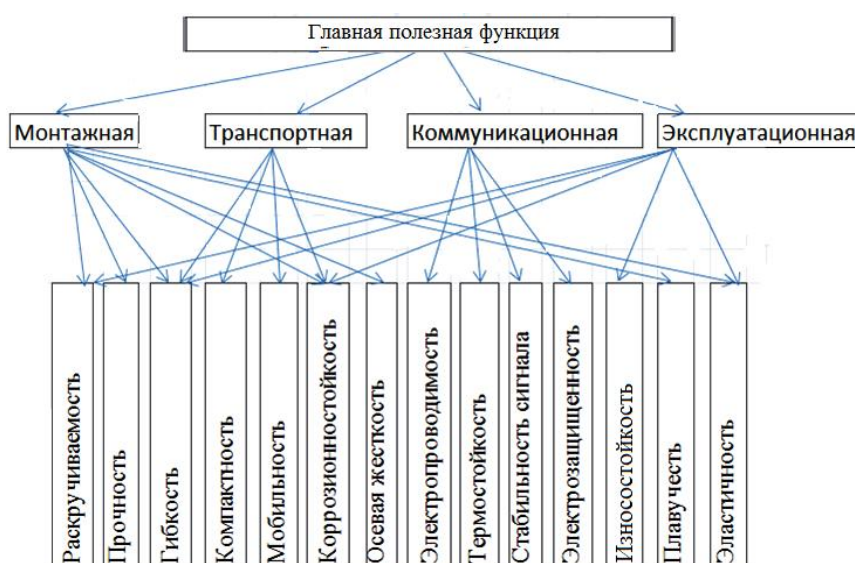


Рис. 3. Структура свойств геофизического кабеля

Потребители решают разнообразные задачи с помощью геофизического кабеля, и поэтому определение функциональных свойств, необходимых потребителю, – задача не менее важная, чем определение качественных показателей самого кабеля и технологического процесса его производства.

Таким образом, функционально-целевой подход позволяет выявить связь потребительских функций и свойств изделия и определяет пути практического повышения качества. Функционально-целевой подход позволяет комбинировать технические решения для обеспечения отдельной функции и определять их согласованность с другими уже существующими функциями. В результате применения предлагаемого метода функционального анализа качества формируется сетевой граф свойств изделия, отражающий связи между ГПФ и отдельными функциями, а также свойствами, их обеспечивающими. Существенным

отличием сетевого графа от древовидного является наличие связи отдельных единичных свойств изделия с несколькими групповыми. Множественность связей определяет силу влияния свойств более низкого уровня на групповые. Таким образом, исчезает потребность дополнительной оценки силы влияния отдельных единичных свойств на групповые, она полностью определяется структурой и количеством связей.

Результаты исследования и их обсуждение

Изложенное выше позволяет утверждать, что складывается новая наука о приёмах и методах разработки стандартов на промышленную продукцию. Для дальнейшего обозначения этой науки авторами данной статьи предлагается использовать греческое слово *протипология* – стандарт. И, следуя традициям словообразования русского языка, обозначать, называть какую-либо науку соединением названия предмета изучения с образованием «-логия», назвать соответствующую науку о стандартизации «Протипология» [6].

Предметом данной науки является разработка методов согласования требований потребителя и возможностей изготовителя продукции. Этапами разработки стандартов являются (рис. 4):

1) разработка требований потребителя как набора свойств и характеризующих их измеряемых показателей;

2) установление соответствия между потребительскими свойствами и свойствами изделия, контролируемые изготовителем продукции;

3) максимальное сближение позиций изготовителя и потребителя и разработка стандарта как оптимального компромисса позиций сторон.



Рис. 4. Этапы разработки стандартов согласно основным положениям протипологии

Данный вопрос приобретает особую актуальность в связи с необходимостью быстрого внедрения результатов научных разработок в действующее производство. Современный этап развития техники и технологий характеризуется интенсивным развитием нанотехнологий. Одним из индикаторов, определяющих распространение нанотехнологий в экономике, является число действующих стандартов [7]. Однако на сегодняшний день в области нанотехнологий и наноматериалов их еще недостаточно. В настоящее время в России действуют всего четыре национальных стандарта на меры нанометрового диапазона, касающиеся метрологического обеспечения зондовых атомно-силовых измерительных сканирующих микроскопов и электронных растровых измерительных микроскопов (ГОСТ Р 8.628-2007 – Р 8.631-2007) [8].

Однако научно-практические разработки последних лет доказывают перспективность и возможность внедрения нанотехнологий в действующие технологические процессы производства металлоизделий различного назначения. Результатом практической реализации фундаментальных исследований в области формирования наноструктуры в углеродистых сталях при различных видах интенсивной пластической деформации стали разработанные технологические процессы получения различных видов метизной продукции [9-13]. Использование углеродистой стали с ультрамелкозернистой структурой для производства различных видов металлоизделий (поволока, машиностроительный крепеж, высокопрочная арматура для железобетонных шпал и др.) позволяет не только получить характерный для данного структурного состояния комплекс прочностных и пластических свойств, но также в значительной степени расширяет области применения, приводит к экономии материальных и энергетических ресурсов.

Современный этап развития металлургического производства требует разработки новой концепции стандартов нового поколения (рис. 5).



Рис. 5. Основные направления работ по разработке концепции стандартов нового поколения

Такой подход будет способствовать интеграции инновационных технологических процессов в действующее промышленное производство, что приведет к укреплению позиций предприятий металлургической отрасли в мировом экономическом пространстве [14].

Заключение

Основными задачами стандартизации в области металлургического производства, на наш взгляд, являются:

- упорядочение информации в нормативно-технических документах (систематизация);
- унификация количества нормативно-технических документов на определенный вид продукции;
- разработка методических основ с учетом внедрения инноваций и модернизации металлургического производства, т.е. стандартизация должна быть действительно опережающей.

Таким образом, протипология является наукой, смежной с метрологией, квалиметрией, менеджментом качества, теорией оптимизации. Соответственно решение задач протипологии достигается использованием методов этих наук, таких как QFD (Quality Function Deployment), функционально-целевой анализ, количественная оценка качества и др. Позиционирование протипологии как самостоятельной науки позволяет сосредоточить усилия исследователей и концентрировать результаты решения задач для эффективного использования в теории и практике стандартизации.

Работа проведена в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства с участием высшего образовательного учреждения (контракт 02.G25.31.0040), а также программы стратегического развития университета на 2012–2016 гг. (конкурсная поддержка Минобрнауки РФ программ стратегического развития ГОУ ВПО).

Список литературы

1. Федеральный закон «О техническом регулировании» от 27 декабря 2002 г. №184-ФЗ.
2. Рубин Г.Ш. Квалиметрия метизного производства. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. 167 с.
3. Полякова М.А., Данилова Ю.В. Систематизация нормативной базы металлоизделий (на примере стандартов на обсадные трубы) // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70-й межрегион. науч.-техн. конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. Т. 1. С. 293-296.
4. Анализ требований стандартов на низкоуглеродистую проволоку / Полякова М.А., Гулин А.Е., Данилова Ю.В., Кулик К.С., Мишина М.Ю. // Обработка сплошных и слоистых материалов: межвуз. сб. науч. тр. / под ред. М.В. Чукина. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. Вып. 38. С. 75-80.
5. Рубин Г.Ш., Камалутдинов И.М. Функциональный анализ структуры и свойств геофизического кабеля // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. №1. С. 70-71.
6. Протипология – новый этап развития стандартизации метизного производства / Рубин Г.Ш., Полякова М.А., Чукин М.В., Гун Г.С. // Сталь. 2013. №10. С. 84-87.
7. Нанотехнологии как ключевой фактор нового технологического уклада в экономике / под ред. акад. РАН Глазьева С.Ю. и проф. Харитоновой В.В. М.: Тривант, 2009. 304 с.
8. Метрология и стандарты в области нанотехнологий / Троян В.И., Пушкин М.А., Тронин В.Н., Борман В.Д., Красовский П.А. // Измерительная техника. 2008. №9. С. 45-48.
9. Инновационный потенциал новых технологий производства метизных изделий из наноструктурных сталей / Чукин М.В., Копцева Н.В., Барышников М.П., Ефимова Ю.Ю., Носов А.Д., Носков Е.П., Коломиец Б.А. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. №2. С. 64-68.

10. Исследование структуры и свойств болтов, изготовленных из наноструктурированных углеродистых сталей / Ефимова Ю.Ю., Колцева Н.В., Чукин В.В., Полякова М.А., Барышников М.П. // Обработка сплошных и слоистых материалов: межвуз. сб. науч. тр. / под ред. М.В. Чукина. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. С. 144-150.
11. Пат. 2446027 РФ, МПК В21С 1/00, В21J 5/06, С21D 7/00. Способ получения длинномерных заготовок круглого поперечного сечения с ультрамелкозернистой структурой / Чукин М.В., Емалеева Д.Г., Барышников М.П., Полякова М.А. Оpubл. 27.03.2012. Бюл. №9.
12. Пат. 2467816 RU, МПК В21С 1/04, В21С 1/00. Способ получения ультрамелкозернистых полуплашек волочением с кручением. / Чукин М.В., Полякова М.А., Голубчик Э.М., Рудаков В.П., Носков С.Е., Гулин А.Е. Заявл. 28.02.2011; опубл. 27.11.2012, Бюл. №33.
13. Высокопрочная арматура для железобетонных шпал нового поколения / Ушаков С.Н., Чукин М.В., Гун Г.С., Корчунов А.Г., Полякова М.А. // Путь и путевое хозяйство. 2012. №11. С. 25-27.
14. Гун Г.С., Чукин М.В., Рубин Г.Ш. Управление качеством в метизном производстве // Metallurgical processes and equipment. 2013. №4. С. 106-112.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

DEVELOPMENT OF STANDARTIZATION FUNDAMENTALS

Rubin Gennadiy Shmul'evich – Ph.D. (Eng), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk state technical university, Russia. E-mail: rubingsh@gmail.com.

Polyakova Marina Andreevna – Ph.D. (Eng), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk state technical university, Russia. E-mail: m.polyakova-64@mail.ru.

Abstract. The analysis of the current state of standardization proved the absence of its scientific basis. This makes it difficult to rapidly introduce the modern scientific achievements in current production. It is noted that there is an urgent need to develop innovative approaches of matching consumer requirements with producer capabilities when developing different kinds of normative and technical documentation. The paper justifies the use of function-oriented method for identifying relations between customer requirements and product properties. It is proposed to use the term «protypology» to define the science of standardization. The subject of this science is techniques development for harmonization customer requirements and the manufacturer's production capabilities. According to the protypology the main standard development stages are: the development of customer requirements as a set of properties characterized by their measurable indicators, establishing harmonization between customer requirements and product properties controlled by the manufacturer; a close match of the manufacturer and the consumer positions and the development of the standards as an acceptable compromise for both parties. From this point of view, the main goals of standardization in metallurgy are information ordering in normative and technical documents (systematization); unification of the total number of normative and technical documents for a definite type of product, the development of methodical fundamentals considering innovations implementation and modernization of metallurgical industry.

Keywords: standartization, scientific fundamentals, production properties, consumer requirements, production manufacturer, harmonization, functionally-oriented method, protypology, metallurgical industry.

References

1. Federalny zakon «O tekhnicheskoy regulirovani» [The Federal Law «About the Technical Regulation»] ot 27 dekabrya 2002, no. 184-FZ.
2. Rubin G.Sh. *Kvalimetriya metiznogo proizvodstva* [Hardware production qualimetry]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2012, 167 p.
3. Polyakova M.A., Danilova Yu.V. *Sistematizatsiya normativnoy bazy metalloizdeliy (na primere standartov na obsadnye trubyy)* [Systematization of metallware normative base (on the example of standards for casing tubes)]. *Aktualnye problemy sovremennoy nauki, tekhniki i obrabotki materialov: materialy 70 mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. [Actual problems of modern science, engineering and education: materials of the 70-th international science and technical conference]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2012, vol. 1, pp. 293-296.
4. Polyakova M.A., Gulina A.E., Danilova Yu.V., Kulik K.S., Mishina M.Yu. *Analiz trebovaniy standartov na nizkouglerodistyuyu provoloku*. [Analysis of standards specifications for low carbon wire]. *Obrabotka sploshnykh i sloistykh materialov: mezhvuz. sb. nauch. tr.* Pod red. M.V. Chukina [Solid and laminated materials processing: interinstitutions' collection of scientific articles]. Ed. by Chukin M.V. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2012, iss. 38, pp. 75-80.
5. Rubin G.Sh., Kamalutdinov I.M. *Funktsionalnyy analiz struktury i svoystv geofizicheskogo kabelya*. [Functional analysis of geophysical cable structure and properties] *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2010, no. 1, pp. 70-71.
6. Rubin G.Sh., Polyakova M.A., Chukin M.V., Gun G.S. *Protipoligiya – novyy etap razvitiya standartizatsii metiznogo proizvodstva* [Protipoligiya is the next stage of metallware standartization development]. *Stal'* [Steel]. 2013, no. 10, pp. 84-87.
7. *Nanotekhnologii kak klyuchevoy faktor novogo tekhnologicheskogo uklada v ekonomike* [Nanotechnologies as the key factor of new technological setup in economy]. Ed. Glazyev S.Yu. and Kharitonov V.V. Moscow: Trovant, 2009, 304 p.
8. Troyan V.I., Pushkin M.A., Tronin V.N., Borman V.D., Krasovskiy P.A. *Metrologiya i standarty v oblasti nanotekhnologii* [Metrology and standards in nanotechnology sphere]. *Izmeritel'naya tekhnika* [Measuring technologies]. 2008, no. 9, pp. 45-48.
9. Chukin M.V., Koptseva N.V., Baryshnikov M.P., Efimova Yu.Yu., Nosov A.D., Noskov Ye.P., Kolomiyyets B.A. *Innovatsionnyy potentsial novykh tekhnologiy proizvodstva metiznykh izdeliy iz nanostrukturnykh staley* [The innovative potential of production metallware from nanostructured steel]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2009, no. 2, pp. 64-68.
10. Efimova Yu.Yu., Koptseva N.V., Chukin V.V., Polyakova M.A., Baryshnikov M.P. *Issledovaniye struktury i svoystv boltov, izgotovlenykh iz nanostrukturnykh uglerodistykh staley* [Investigation of structure and properties bolts made from nanostructured carbon steels]. *Obrabotka sploshnykh i sloistykh materialov: Mezhvuz. sb. nauch. tr.* Pod red. M.V. Chukina [Solid and laminated materials processing: interinstitutions' collection of scientific articles] Ed. by Chukin M.V. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2008, pp. 144-150.
11. Chukin M.V., Yemaleyeva D.G., Baryshnikov M.P., Polyakova M.A. *Sposob polucheniya dlinnomernykh zagotovok kruglogo poperechnogo secheniya s ultra-melkozernistoy strukturoy* [Method of production for long-length round cross-sectional workpieces with ultrafine grain structure]. Patent RF, no. 2446027, 2012.
12. Chukin M.V., Polyakova M.A., Golubchik E.M., Rudakov V.P., Noskov S.E., Gulina A.E. *Sposob polucheniya ultra-melkozernistykh polufabrikatov volocheniyem s krucheniyem* [Production method of workpieces by drawing with torsion]. Patent RU, no. 2467816, 2011.
13. Ushakov S.N., Chukin M.V., Gun G.S., Korchunov A.G., Polyakova M.A. *Vysokoprochnaya armatura dlya zhelezobetonnykh shpal novogo pokoleniya* [High-strength reinforcement for new generation of railway sleepers]. *Put i putevoye khozyaystvo* [Railway and railroad sector]. 2012, no. 11, pp. 25-27.
14. Gun G.S., Chukin M.V., Rubin G.Sh. *Upravleniye kachestvom v metiznom proizvodstve* [Quality management in metallware production]. *Metallurgicheskiye protsessy i oborudovaniya* [Metallurgical processes and equipment]. 2013, no. 4, pp. 106-112.

От редакции

Свыше 30 лет связывает ученых Перми и Магнитогорска совместное творчество по развитию теории управления качеством процессов и теории обработки материалов давлением. Пермские и магнитогорские профессора Гитман М.Б., Столбов В.Ю., Чукин М.В., Песин А.М. читают лекции в вузах США, Польши, Казахстана, России, проводят совместные исследования. В МГТУ им. Г.И. Носова работает единственный в России диссертационный совет по специальности «Стандартизация и управление качеством» в области металлургии, в котором защищено 5 докторских диссертаций и свыше 20 кандидатских. Доктора по этой уникальной специальности – Закиров Д.М., Корчунов А.Г., Моллер А.Б., Михайловский И.А., Федосеев С.А. успешно развивают теорию управления качеством в металлургии.

В настоящее время научная группа под руководством профессоров Чукина М.В. и Гитмана М.Б. работает над теоретическим обоснованием идей, внедряемых в ООО «Мотовилихинские заводы» в рамках выигранного МГТУ им. Г.И. Носова конкурса по созданию высокотехнологичного производства.

УДК 65.012.2

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СИТУАЦИОННОГО ЦЕНТРА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ*

Гитман М.Б.¹, Пустовойт К.С.², Столбов В.Ю.¹, Федосеев С.А.¹, Гун Г.С.³

¹ Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия

² Мотовилихинские заводы, г. Пермь, Россия

³ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

Аннотация. В статье предложена концептуальная модель ситуационного центра промышленного предприятия, целью которого является поддержка принятия управленческих решений на базе интеллектуальных технологий, математического моделирования и информационно-аналитических систем. В качестве примера одной из задач, требующих решения в рамках ситуационного центра, приведена постановка задачи максимально гибкого реагирования на заказы, поступающие от существующих или потенциальных клиентов предприятия.

Ключевые слова: ситуационный центр, коллективное принятие решений, интеллектуальные технологии, математическое моделирование, управление заказами потребителей.

Введение

Производственные системы являются частным случаем социально-технических систем [1]. Управление такими системами связано со значительными сложностями, вызванными неполнотой информации, конфликтами интересов и целей, быстрыми и многочисленными изменениями в окружающей среде промышленного предприятия. При этом резко возрастают требования к гибкости производства и оперативности принятия управленческих решений, что, в свою очередь, обуславливает необходимость интеллектуализации и информатизации процессов управления. Для преодоления этих сложностей должны быть разработаны соответствующие эффективные механизмы и инструменты поддержки принятия решений на всех уровнях иерархии управления предприятием [2].

Качество принимаемых менеджерами решений в значительной степени определяет эффективность функционирования любой организации, в том числе производственной системы. Повысить качество управленческих решений позволяет механизм коллективного принятия решений [3], который является

непосредственной реализацией такого принципа TQM, как вовлечение сотрудников в управление предприятием с целью раскрытия и использования их творческого потенциала [4]. Реализация этого механизма требует разработки соответствующих инструментов, одним из которых может быть ситуационный центр промышленного предприятия (СЦПП).

Концептуальная модель ситуационного центра. Под СЦПП будем понимать человеко-машинную систему, включающую помещение (зал, комната, кабинет), оснащённое средствами коммуникаций (видеоконференцсвязь, конференц-связь) и другими средствами интерактивного представления информации, предназначенное для оперативного принятия экспертами согласованных управленческих решений, контроля и мониторинга технологических и организационных процессов производства, а также анализа возможных ситуаций на основе интеллектуальных технологий поддержки принятия управленческих решений. При этом *ситуацией* будем называть конкретное состояние исследуемой системы, которое возникло или может возникнуть в результате изменений как в самой системе, так и за счет внешних воздействий. Например, ситуацией будет состояние производственной системы при поступлении нового заказа или резкого изменения конъюнктуры рынка, что требует существенных изменений большого числа процессов,

* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (договор № 02.G25.31.0068 от 23.05.2013г. в составе мероприятия по реализации постановления Правительства РФ № 218).

протекающих в системе. Каждая ситуация характеризуется своим набором *ситуационных задач*, каждая из которых предполагает различные *сценарии* ее разрешения для достижения поставленных целей. Под *ситуационной задачей*, в данном случае, понимается проблема, возникшая в конкретной ситуации и требующая системного решения. Например, ситуационной задачей является составление нового объемного плана производства или оценка возможности выполнения срочного крупного заказа. Отметим, что часто конкретная ситуация характеризуется наличием *неопределенности*, обусловленной, с одной стороны, неполнотой информации об условиях протекания исследуемого процесса, с другой – неопределенностью параметров, характеризующих и описывающих этот процесс. Решение ситуационных задач связано с анализом конкретных ситуаций, отражающих происходящие в системе изменения, раскрытием имеющихся неопределенностей и выработкой последовательности возможных действий (*сценариев*), направленных на разрешение возникшей проблемы. Каждое решение ситуационной задачи подразумевает взаимодействие большого числа элементов системы и процессов, протекающих в системе. Поэтому для решения ситуационной задачи необходим набор *моделей*, характеризующих как сами процессы, так и их взаимодействие. Кроме этого необходима разработка *алгоритма поддержки управленческих решений*. Этот алгоритм строится на *механизме принятия коллективных решений*, подразумевающим наличие иерархии принятия решений на разных уровнях управления. При этом решение на каждом уровне должно базироваться на объективных данных, получаемых в оперативном режиме из информационной системы предприятия. По существу, речь идет о реализации механизмов *информатизации и интеллектуализации* управления, которые совместно с *механизмом принятия коллективных решений* являются методологической основой создания СЦПП.

Таким образом, СЦПП является интеграционным инструментом реализации следующих трех механизмов управления: *информатизации, интеллектуализации и принятия коллективных решений*.

Целью создания СЦПП является повышение качества принятия управленческих решений и формирование управленческих компетенций у менеджмента предприятия в условиях быстро меняющейся конъюнктуры рынка и состояния производства.

Для достижения данной цели СЦПП должен решать следующие основные задачи:

- мониторинг состояния объекта управления с прогнозированием развития ситуации на основе анализа поступающей информации;
- поддержка принятия управленческих решений на базе математического моделирования и использования информационно-аналитических систем;
- экспертная оценка принимаемых решений и их оптимизация;
- управление в кризисной ситуации;
- формирование управленческих компетенций.

Первая задача предполагает сбор и анализ поступающей информации о всех технологических процессах производства, а также выявление «узких мест»

производства и прогнозирование конъюнктуры рынка.

В рамках второй задачи осуществляется разработка ряда моделей поддержки принятия управленческих решений на стратегическом и тактическом уровнях планирования, например [5-8]:

- синергетическая модель повышения открытости системы производственного планирования с учетом стратегических целей предприятия (обоснование согласованных периодов планирования на различных уровнях принятия решения);
- модель формирования оптимального портфеля заказов на заданный период планирования с учетом важности заказов и ограничений на производственные ресурсы;
- модель составления объемного плана производства продукции под спрос с учетом прогноза конъюнктуры рынка и состояния производства;
- модель управления инновациями с учетом рисков промышленного предприятия (разработка структуры банка инноваций, выбор инноваций с учетом рисков, обоснование сроков инновационного проекта);
- модель составления операционного плана производства на заданный период планирования с учетом комфортности производства и равномерности загрузки оборудования;
- модель перепланирования производства с учетом синхронизации требований потребителей и возможностей производителей продукции.

Экспертная оценка принимаемых решений и их оптимизация проводится на основе разработанных моделей и интеллектуальных технологий и приводит к изменению главного календарного плана производства (при необходимости производится оптимизация решения с учетом стратегических целей предприятия).

Управление в кризисной ситуации определяется регламентом промышленного предприятия.

СЦПП также может быть использован для формирования профессиональных управленческих компетенций при освоении образовательных программ ВПО и ДПО, в том числе:

- для поддержки ресурсами и средствами разнообразных активных форм проведения занятий со слушателями всех видов и форм обучения;
- поддержки ресурсами и средствами научно-исследовательских и информационно-аналитических работ, проводимых со слушателями;
- обучения персонала ситуационных центров использованию современных информационных, аналитических и технологических средств;
- проведения деловых игр; стендовой отработки интеллектуальных информационных технологий при принятии управленческих решений.

Еще раз подчеркнем, что важной функцией СЦПП является *поддержка принятия управленческих решений на базе интеллектуальных технологий, математического моделирования и использования информационно-аналитических систем*.

На основе разработанных моделей и интеллектуальных технологий в рамках СЦПП производится

экспертная оценка принимаемых решений по изменению основных и вспомогательных бизнес-процессов и при необходимости осуществляется оптимизация принимаемого решения с учетом стратегических целей предприятия.

Пример ситуационной задачи. Приведем пример одной из постановок задач, требующих решения в рамках ситуационного центра промышленного предприятия.

Известно [4], что в целях максимального удовлетворения требований потребителей для промышленного предприятия актуальной является задача максимально гибкого реагирования на заказы, поступающие от существующих или потенциальных клиентов.

Содержательно данная задача заключается в следующем: предприятие получает от клиента заказ на несколько видов продукции. При этом клиент определяет ограничения на количество, сроки и цену каждого вида продукции. Кроме того, клиент может определить приоритетность видов продукции. Предприятию необходимо в заданные сроки либо принять условия клиента, либо сделать встречные предложения по количеству, срокам и стоимости продукции. При этом предприятие учитывает свои интересы по получению прибыли, важность клиента, а также ограничения на производственные мощности и материальные ресурсы. В худшем случае предприятие полностью отказывает клиенту в производстве всех видов продукции.

Для решения поставленной задачи необходимо разработать математическую модель, которая будет генерировать некоторый набор вариантов выполнения заказа клиента с учетом интересов клиента и предприятия. Эта модель должна позволять:

- расчет несколько вариантов выполнения заказа клиента с указанием количества, сроков, цены и прибыли по каждому виду продукции либо выдавать заключение о полной невозможности выполнения заказа клиента;

- определение количества производственных мощностей и материальных ресурсов, необходимых для выполнения всех или части требований клиента.

Исходными данными задачи являются:

- заказ клиента, включающий количество, сроки, цену и приоритетность каждого требуемого вида продукции;

- нормативно-справочная информация по составу изделий и технологии их производства;

- данные по себестоимости продукции предприятия;

- план использования производственных мощностей и материальных ресурсов предприятия.

Будем полагать, что клиент сделал предприятию j -й заказ на N видов продукции в количестве q_{ij} ,

$i = \overline{1, N}$. Здесь j – это уникальный номер заказа, сквозной для всех клиентов. При этом j -й заказ однозначно идентифицирует клиента, т.е. по номеру заказа всегда можно установить: какой клиент его сделал, что необходимо для определения важности клиента и ценовой политики предприятия в отношении клиента.

Считается, что требуемая i -я продукция для j -го заказа может быть:

- либо отгружена из складских запасов предприятия в количестве q_{ij}^s по цене $p_{ij}^s(q_{ij}^s)$ с себестоимостью c_{ij}^s и прибыльностью $\Delta_{ij}^s = q_{ij}^s(p_{ij}^s(q_{ij}^s) - c_{ij}^s)$;

- либо произведена предприятием в срок в количестве q_{ij}^e по цене $p_{ij}^e(q_{ij}^e)$ с себестоимостью $c_{ij}^e(q_{ij}^e)$ и прибыльностью $\Delta_{ij}^e = q_{ij}^e(p_{ij}^e(q_{ij}^e) - c_{ij}^e(q_{ij}^e))$.

- либо произведена с отклонением по срокам D_{ij} , не превышающим некоторое известное допустимое отклонение D_{ij}^* , в количестве q_{ij}^b по цене $p_{ij}^b(q_{ij}^b, D_{ij})$ с себестоимостью $c_{ij}^b(q_{ij}^b)$ и прибыльностью $\Delta_{ij}^b = q_{ij}^b(p_{ij}^b(q_{ij}^b, D_{ij}) - c_{ij}^b(q_{ij}^b))$. Если $D_{ij} > D_{ij}^*$, то предприятие отказывает клиенту в производстве i -й продукции по j -му заказу.

Для перечисленных количеств единиц продукции будет справедливым следующее ограничение:

$$q_{ij}^s + q_{ij}^e + q_{ij}^b = q_{ij}, \quad (1)$$

При этом прибыльность i -й продукции в j -м заказе Δ_{ij} рассчитывается по формуле $\Delta_{ij} = \Delta_{ij}^s + \Delta_{ij}^e + \Delta_{ij}^b$, а суммарная прибыльность j -го заказа Δ_j рассчиты-

вается по формуле $\Delta_j = \sum_{i=1}^N \Delta_{ij}$.

В соответствии с нормативно-справочной информацией по составу изделий и технологии их производства будем полагать известными:

- потребность в мощностях каждого из M типов оборудования на единицу продукции R_{il} , $l = \overline{1, M}$, $i = \overline{1, N}$, задаваемая на основе технологических маршрутов;

- потребность в каждом из K ключевых материалах на единицу продукции S_{ki} , $k = \overline{1, K}$, $i = \overline{1, N}$, задаваемая на основе спецификации изделий;

- доступные мощности для каждого типа оборудования P_l , $l = \overline{1, M}$ в соответствии с планом производства;

- доступное количество для каждого из ключевых материалов T_k , $k = \overline{1, K}$, определенное на основе данных о состоянии склада и плана закупок.

В результате ограничения на производственные мощности и материалы для производства заказа j -го клиента могут быть записаны следующим образом:

$$\sum_{i=1}^N R_{il} (q_{ij}^e + q_{ij}^b) \leq P_l, \quad l = \overline{1, M}; \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N S_{ki} (q_{ij}^e + q_{ij}^b) \leq T_k, \quad k = \overline{1, K}; \quad (3)$$

$$q_{ij}^e \geq 0, \quad i = \overline{1, N}; \quad (4)$$

$$q_{ij}^b \geq 0, \quad i = \overline{1, N}. \quad (5)$$

Складские запасы продукции $Q_i, \quad i = \overline{1, N}$, считаются известными. Тогда ограничения на отгрузку продукции со склада для заказа j -го клиента можно записать в следующем виде:

$$0 \leq q_{ij}^s \leq Q_i, \quad i = \overline{1, N}.$$

Важность j -й заказа W_j определяется важностью клиента для предприятия I_j и дополнительно может зависеть от прибыльности заказа Δ_j . При этом важность i -й продукции в j -м заказе V_{ij} задается клиентом.

Теперь математическую постановку задачи оптимизации позаказного производства можно представить в следующем виде.

Пусть имеется j -й заказ на N видов продукции в количестве $q_{ij}, \quad i = \overline{1, N}$. Необходимо найти такие количества q_{ij}^s, q_{ij}^e и q_{ij}^b , чтобы при ограничениях (1)-(6) обеспечить экстремальные значения следующим критериям:

– прибыльности

$$\sum_{i=1}^N \Delta_{ij} \rightarrow \max; \quad (7)$$

– важности

$$\sum_{i=1}^N W_j(I_j, \Delta_j) V_{ij} \rightarrow \max; \quad (8)$$

– своевременности

$$\sum_{i=1}^N D_{ij} V_{ij} \rightarrow \min. \quad (9)$$

Следует отметить, что задача может быть поставлена аналогичным образом и для случая получения нескольких заказов от различных клиентов, а также для случая рассмотрения конкурирующих заказов, уже размещенных в плане производства. При этом в выра-

жениях (2), (3), (6)-(9) появятся суммы по j -м заказам.

Для решения поставленной выше задачи необходимо разработать эффективный алгоритм, использующий базу данных о возможных технологических маршрутах изготовления каждой единицы продукции и имеющихся ресурсах предприятия, которые необходимо получать в реальном времени из информационной системы предприятия.

В результате решения данной многокритериальной оптимизационной задачи может быть получено множество допустимых решений (например, Парето-множество). Выбор наиболее приемлемого для всей производственной системы решения представляет задачу, которую наиболее эффективно решать в рамках СЦПП путем применения механизма коллективного принятия решения. При этом эксперты могут изменять параметры задачи (важность заказа, себестоимость продукции, сроки выполнения заказа и т.п.) и проводить анализ возможного решения при новых исходных данных.

Выводы. Предложена концептуальная модель ситуационного центра предприятия, в рамках которой сформулированы его цели и задачи. Рассмотрен пример постановки одной из ситуационных задач, часто возникающей при планировании производства и требующей решения в рамках ситуационного центра промышленного предприятия.

Список литературы

1. Гитман М.Б., Столбов В.Ю., Гилязов Р.Л. Управление социально-техническими системами с учетом нечетких предпочтений. М.: ЛЕНАНД, 2010. 272 с.
2. Губко М.В. Математические модели оптимизации иерархических структур. М.: ЛЕНАНД, 2006. 264 с.
3. Панфилова А.П. Мозговые штурмы в коллективном принятии решений. М.: Флинта, 2007. 320 с.
4. Управление качеством продукции на современных промышленных предприятиях: монография / С.А. Федосеев, М.Б. Гитман, В.Ю. Столбов, А.В. Вожаков. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2011. 229 с.
5. Пустовойт К.С., Гитман М.Б., Столбов В.Ю. Повышение открытости производственной системы с учетом интересов внешних и внутренних потребителей // Актуальные проблемы экономики. 2012. №8. С. 440-451.
6. Жирнов В.И., Столбов В.Ю. Модель формирования оптимального плана производства как элемент системы поддержки принятия решений на стратегическом уровне управления предприятием // Теор. и прикл. аспекты информационных технологий: сб. науч. трудов; ГосНИИУМС. Пермь, 2007. Вып. 56. С. 87-96.
7. Пустовойт К.С., Гитман М.Б., Столбов В.Ю. Перепланирование ресурсов как механизм синхронизации требований потребителей и производителей продукции // Актуальные проблемы экономики. 2012. №9. С. 457-466.
8. Федосеев С.А., Вожаков А.В., Гитман М.Б. Модель календарного планирования производства с нечеткими целями и ограничениями // Системы управления и информационные технологии. 2009. №3. С. 21-24.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE CONCEPTUAL MODEL OF THE SITUATIONAL CENTER OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISE

Gitman Mikhail Borisovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Perm State National Research Polytechnic University, Russia. E-mail: gmb@matmod.pstu.ac.ru.

Pustovoyt Konstantin Semyonovich – Ph.D., Advisor to General Director OJSC «Motovilikhinsky Zavody». Russia. E-mail: forksp@mail.ru.

Stolbov Valeriy Yurievich – D.Sc. (Eng.), Professor, Perm State National Research Polytechnic University, Russia. E-mail: svu@matmod.pstu.ac.ru.

Fedosееv Sergei Anatoljevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Perm State National Research Polytechnic University, Russia. E-mail: fsa@gelicon.biz.

Gun Gennadij Semenovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Advisor to the Rector, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia.

Abstract. The paper proposes a conceptual model of the situational center of the industrial enterprise. The aim of the situational center is to support decision-making on the base of intellectual technologies, mathematical modelling and information-analytical systems. Also the statement of the problem of maximizing level of service for consumers of the enterprise is presented.

Keywords: situational centre, decision-making team, intellectual technologies, mathematical modelling, customer order management.

References

1. Gitman M.B., Stolbov V.Y., Gilyazov R.L. *Upravlenie socialno-tekhnicheskimi sistemami s uchetom nechetkih predpochteniy*. [Management of socio-technical systems with fuzzy preference]. Moscow: LENAND, 2010, 272 p.
2. Gubko M.V. *Matematicheskie modeli optimizatsii ierarhicheskikh struktur*. [Mathematical model of hierarchical structures optimization]. Moscow: LENAND, 2006, 264 p.
3. Panfilova A.P. *Mozgovie shturmi v kollektivnom prinyatii resheniy*. [Brainstorming for collective decision-making]. Moscow: Flinta, 2007, 320 p.
4. Fedoseev S.A., Gitman M.B., Stolbov V.Y., Vozhakov A.V. *Upravlenie kachestvom produktsii na sovremennih promishlennih predpriyatiya*. [Products quality management of the modern industrial enterprises]. Perm: National Research Polytechnic University of Perm publisher, 2011, 229 p.
5. Pustovoi K.S., Gitman M.B., Stolbov V.Y. Povishenie otkritosti proizvodstvennoy sistem s uchetom interesov vneshnih i vnutrennih potrebitel'ey. [Increase of the transparency of the production system with the interests of internal and external customers]. *Aktualnie problemi ekonomiki* [Actual problems of Economics], 2012, no. 8, pp. 440-451.
6. Zhimov V.I., Stolbov V.Y. Model formirovaniya optimalnogo plana proizvodstva kak element sistem podderzhki prinyatiya resheniy na strategicheskom urovne upravleniya predpriyatiem. [The model for formation of the optimal production plan as an element of the decision support system at the strategic level of the enterprise management]. *Teoreticheskie i prikladnye aspekty informatsionnykh tekhnologiy* [Theoretical and applied aspects of information technologies], Perm State research Institute of control machines and systems, 2007, no. 56, pp. 87-96.
7. Pustovoi K.S., Gitman M.B., Stolbov V.Y. Pereplanirovanie resursov kak mekhanizm sinhronizatsii trebovaniy potrebitel'ey i proizvoditeley produktsii. [Rescheduling resources as a synchronization mechanism of requirements of consumers and producers]. *Aktualnie problemi ekonomiki* [Actual problems of Economics], 2012, no. 9, pp. 457-466.
8. Fedoseev S.A., Vozhakov A.V., Gitman M.B. Model kalendarnogo planirovaniya proizvodstva s nechetkimi tselyami i ogranicheniyami. [Model production scheduling with fuzzy goals and constraints]. *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii* [Control systems and information technologies], 2009, no. 3, pp. 21-24.

От редакции

Научная школа МГТУ им. Г.И. Носова «Развитие теоретических основ промышленной и экологической безопасности в условиях устойчивого развития промышленных регионов», руководимая проф., д.т.н. Черчинцевым В.Д., проводит научные исследования по широкому спектру проблем промышленной и экологической безопасности, а также рациональному использованию природных и техногенных ресурсов.

В научных исследованиях по проблемам промышленной безопасности особое внимание уделяется развитию теории риска, определению и оценке риска на предприятиях горнодобывающей и горно-перерабатывающей промышленности, а также предприятиях черной металлургии с полным технологическим циклом. Проводится теоретическое обоснование мероприятий по снижению возможности возникновения инцидентов, аварий и катастроф.

Повышение экологической безопасности функционирования промышленных предприятий достигается путем разработки научно обоснованных способов и технических средств защиты экосистем промышленных регионов, промышленных узлов и городов от техногенного воздействия промышленных предприятий, размещенных на их территориях. В рамках проводимых мероприятий по реализации «Основ государственной политики в области экологического развития Российской Федерации» особое внимание уделяется вопросам совершенствования технологических процессов и разработке технических средств, обеспечивающих минимизацию вредного воздействия промышленных предприятий на окружающую среду. Одновременно с этим ведется разработка способов и технических средств восстановления нарушенных элементов экосистем с сопутным извлечением ценных компонентов из техногенных ресурсов, представляющих собой отходы производства.

По этому направлению за последние пять лет проведен комплекс научных исследований и выполнены научно-исследовательские работы по оптимизации процессов сжигания топлива в котельных установках теплоэнергетических систем, совершенствованию систем аспирации, пылеулавливания и очистки газов агломерационного, доменного, кислородно-конверторного и электросталеплавильного производства. Разработаны методики определения дисперсного состава, физико-механических, электрофизических и физико-химических свойств пыли, образующейся при осуществлении этих технологических процессов.

УДК 614:669.1

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОАО «МАГНИТОГОРСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ» КАК ОБЯЗАТЕЛЬНОЕ УСЛОВИЕ ЕГО УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

Гладских В.И.¹, Дробный О.Ф.¹, Ласьков С.А.¹, Черчинцев В.Д.²¹ Магнитогорский металлургический комбинат, Россия² Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

Аннотация. В статье приведен краткий анализ действующих систем промышленной и экологической безопасности ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» и основные направления научно-технических работ по совершенствованию этих систем, проводимых специалистами ОАО «ММК» совместно с научными сотрудниками Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, а также данные по оценке результатов этих работ и научное обоснование целесообразности осуществления мероприятий, направленных на повышение эффективности функционирования указанных систем, обеспечивающих устойчивое развитие ОАО «ММК».

Ключевые слова: инциденты, производственный травматизм, аварии, поведенческий аудит, загрязняющие вещества, промышленные отходы, рекультивация.

Введение

ОАО «ММК» – современный металлургический комплекс с полным технологическим циклом, включающий, помимо обновленных производств, уникальные для России технологические линии [1]. К числу масштабных работ по модернизации действующего оборудования и масштабных инвестиционных проектов, реализованных в последнее время, относятся коренная реконструкция доменной печи №6, ввод в эксплуатацию толстолистового стана 5000, поэтапное освоение комплекса стана 2000 холодной прокатки, реализация проекта «ММК-Интеркос», завершение

строительства и ввод в эксплуатацию металлургического комплекса ММК-Metalurji в Турции [1]. Одновременно с этим проводятся работы по совершенствованию технологических процессов и модернизации оборудования, направленные на улучшение условий труда, снижение производственного травматизма и вредного воздействия на окружающую среду. Для этого сформирована инициативная группа из состава специалистов УОТ и ПБ ОАО «ММК», преподавателей и научных сотрудников ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» и сотрудников АНО «КЦ ПК “Персонал”».

С целью успешного выполнения долгосрочной экологической программы ОАО «ММК», реализуемой в рамках «Основ государственной политики в области экологического развития Российской Федерации», создана инициативная группа, включающая специалистов ЛООС ММК, преподавателей и научных сотрудников кафедры ПЭиБЖ МГТУ им. Г.И. Носова.

Повышение промышленной безопасности и обеспечение здоровых и безопасных условий труда на опасных производственных объектах ОАО «ММК»

Система управления промышленной безопасностью и охраной труда ОАО «ММК» сертифицирована в соответствии с требованиями стандарта OHSAS 18001:2007 в области «Добыча сырья. Коксохимическое производство. Производство продукции из стали, включая все металлургические переделы».

На рис. 1 приведены статистические данные о количестве инцидентов, произошедших за период с 2003 по 2012 год включительно, а на рис. 2 – количество инцидентов, произошедших за 6 месяцев 2012 и 2013 годов в ОАО «ММК».

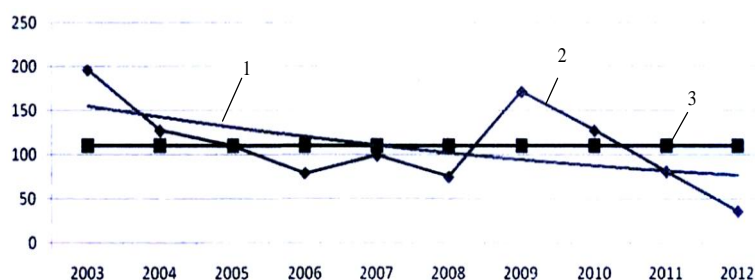


Рис. 1. Количество инцидентов, произошедших в ОАО «ММК» за период 2003-2012 гг.: 1 – линия тренда; 2 – абсолютное число инцидентов; 3 – средневзвешенный показатель инцидентов

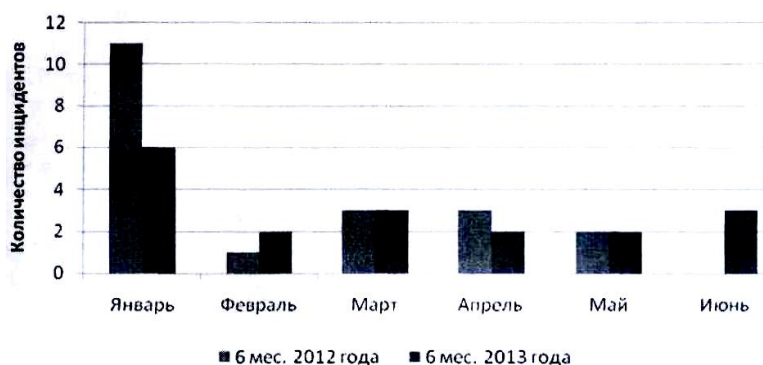


Рис. 2. Количество инцидентов, произошедших в ОАО «ММК» в 2012-2013 годах

Рис. 3 иллюстрирует сведения о производственном травматизме в ОАО «ММК» за 2003-2012 гг. и 9 месяцев 2013 года.

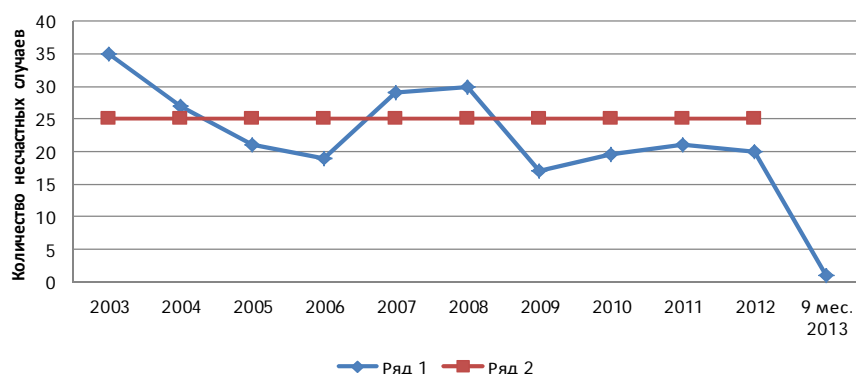


Рис. 3. Данные о производственном травматизме в ОАО «ММК» за периоды с 2003 по 2012 год и 9 месяцев 2013 года

Несмотря на то, что линия тренда изменения количества несчастных случаев в указанные периоды имеет устойчивую тенденцию к снижению, для дальнейшего устойчивого развития этого предприятия необходимо разработать комплекс мер, обеспечивающих повышение эффективности проводимых в ОАО «ММК» технологических, технических, организационных и социально-экономических мероприятий, а также по совершенствованию системы управления промышленной безопасностью и охраной труда. Указанные мероприятия требуют научного обоснования, а следовательно, проведения специальных научных исследований.

В научных исследованиях по проблемам промышленной безопасности особое внимание уделяется развитию теории риска, определению и оценке риска на предприятиях горнодобывающей и горно-перерабатывающей промышленности, а также предприятиях черной металлургии с полным технологическим циклом. При этом проводится теоретическое обоснование мероприятий по снижению возможности возникновения инцидентов, аварий и катастроф.

По вышеуказанному научному направлению выполнен ряд научно-исследовательских работ по разработке и усовершенствованию методики оценки риска возникновения аварийных ситуаций на предприятиях черной металлургии, в частности, разработана методика оценки риска и прогнозирования риска аварийных ситуаций с целью повышения устойчивости коксохимического производства, проведено совершенствование методики оценки риска травмирования и профзаболеваний на предприятиях черной металлургии.

В настоящее время в рамках этого научного направления выполняется научно-исследовательская работа на тему «Совер-

шенствование системы управления промышленной безопасностью и охраной труда посредством разработки и внедрения системы поведенческих аудитов безопасности в ОАО «ММК»».

Развитие системы обеспечения экологической безопасности ОАО «ММК» в условиях его устойчивого функционирования

В соответствии с государственной политикой Российской Федерации по решению экологических проблем в ОАО «ММК» разработана и успешно реализуется программа выполнения технологических, технических, организационных и социально-экономических мероприятий, составляющих основу экологической политики ОАО «ММК» (Магнитогорский металлургический комбинат).

Стратегией ОАО «ММК» по снижению негативного воздействия на окружающую среду является переход на современные технологические процессы, оснащенные природоохранными сооружениями на базе лучших из доступных на сегодняшний день технологий, с одновременным выводом из эксплуатации уже устаревших агрегатов.

Повышение экологической безопасности функционирования промышленных предприятий достигается путем разработки научно обоснованных способов и технических средств защиты не только промышленных и селитебных зон, но и экосистем городов, промышленных узлов и промышленных регионов.

По этому направлению за последние годы проведен комплекс научных исследований и выполнены научно-исследовательские работы по оптимизации процессов сжигания топлива в котельных установках теплоэнергетических систем, совершенствованию систем аспирации, пылеулавливания и очистки газов агломерационного, доменного, кислородно-конверторного и электросталеплавильного производств. При этом разработаны методики определения дисперсного состава, физико-механических, электрофизических и физико-химических свойств пыли, образующейся при осуществлении этих технологических процессов [3-6].

В результате выполнения программы технического перевооружения коренным образом изменилась не только структура производства ОАО «ММК», но и значительно снизился уровень воздействия предприятия на окружающую среду. В 2012 году валовые выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, по сравнению с 1989 годом, в ОАО «ММК» сократились в 3,7 раза, удельные выбросы снизились в 3,5 раза [2].

В настоящее время природоохранный комплекс ОАО «ММК» состоит из 445 газоочистных установок различной мощно-

сти, из 43 локальных оборотных циклов водоснабжения и 32 водоочистных сооружений, а также из 6 комплексов по переработке металлургических шлаков. Практически на всех природоохранных объектах за последние 10 лет выполнена реконструкция или произведены капитальные ремонты [2].

В результате реализации природоохранных мероприятий за последние 5 лет сократились валовые выбросы на 10,8 тыс. т (или 5%) и составили в 2012 году 220,2 тыс. т, удельные выбросы уменьшились на 11% (до 18,57 кг на тонну металлопродукции).

Как видно из рис. 4, начиная с 2009 года в ОАО «ММК» прослеживается устойчивая тенденция снижения выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду.

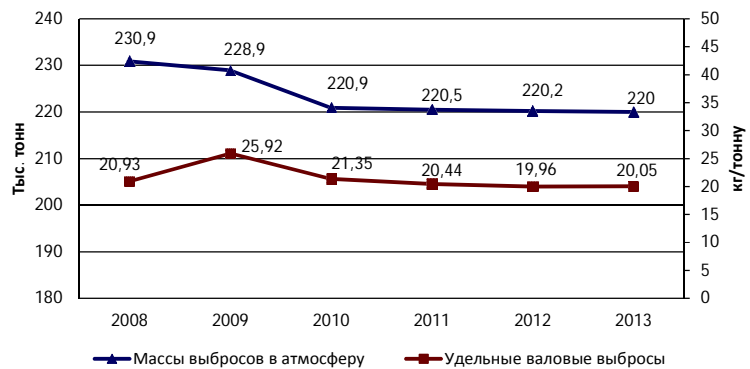


Рис. 4. Изменения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух за период с 2008 по 2013 год

Стратегией по защите водных объектов является максимально возможное повторное использование воды для нужд технического водоснабжения. Доля оборотного водоснабжения ОАО «ММК» в течение последних пяти лет стабильно держится на уровне более 96%.

Реализация водоохранных мероприятий Экологической программы позволила сократить валовые сбросы в водные объекты на 42,05 тыс. т (27%) до 113,8 тыс. т, удельные сбросы загрязняющих веществ на 1 т металлопродукции снизились на 28,6% по сравнению с 2011 годом и составили 10,32 кг/т (рис. 5).

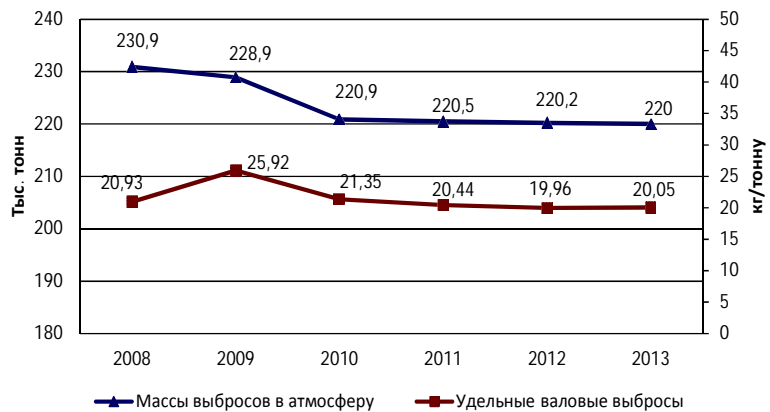


Рис. 5. Динамика изменения сбросов загрязняющих веществ в водные объекты

Большое внимание уделяется в ОАО «ММК» деятельности по использованию и обезвреживанию отходов производства. Использование отходов производства в шихте металлургического производства в 2012 году составило 2,9 млн тонн, что в 2 раза больше, чем в 2008 году. За последние 5 лет количество переработанных текущих и отвальных металлургических шлаков увеличилось в 2 раза и составило 11,5 млн т в год.

Особое внимание в ОАО «ММК» уделяется комплексной переработке промышленных отходов с целью их использования в собственном производстве, а также рекультивации отработанных карьеров горы Магнитной, что иллюстрируется данными, приведенными на рис. 6.



Рис. 6. Изменения использования отходов производства

Фактические затраты на реализацию Экологической программы ОАО «ММК» в 2012 году составили 38 млн долл. (в том числе на капитальное строительство – 34 млн долл.

По Экологической программе ОАО «ММК» на 2013 г. предусмотрено выполнение 44 мероприятий.

Реализация этой программы обеспечивает не только повышение устойчивости развития ОАО «ММК», но и создает благоприятные условия функционирования всего Южно-Уральского региона.

Список литературы

1. Дубровский Б.А. Магнитка: новые технологии – новые возможности // Сталь. 2012. №2. С.2-4.
2. Drobny O.F., Cherkintsev V.D. Development and implementation of measures to improve environmental situation within Magnitogorsk industrial hub // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2013. №5. P. 74-78.
3. Черчинцев В.Д., Гусев А.М., Дробный О.Ф. Способы и средства снижения техногенного воздействия агломерационного производства ОАО «ММК» на экосистему Магнитогорского промышленного узла // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. №2. С.25-29.
4. Черчинцев В.Д., Валеев В.Х., Сомова Ю.В. Исследование замасленных шламов донных отложений металлургического производства // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. №2. С.80-83.
5. Черчинцев В.Д., Савина Ю.Е. Совершенствование абсорбционных процессов улавливания диоксида серы из газов агломерационного производства // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. №1. С.21-23.
6. Влияние шлаковых отвалов на экосистемы Южного Урала / Черчинцев В.Д., Кошкина В.С., Антипанова Н.А., Прошкина О.Б. // Экология и промышленность. 2010, февр. С. 52-54.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

MODERNIZATION OF INDUSTRIAL AND ECOLOGICAL SAFETY SYSTEMS AT OJSC MAGNITOGORSK IRON AND STEEL WORKS AS AN OBLIGATORY CONDITION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Gladskikh Vladimir Ivanovich – Chief of the Ore Mining and Dressing Plant at OJSC Magnitogorsk Iron and Steel Works, Russia. Phone: (812)24-27-81.

Drobny Oleg Fedorovich – Ph.D. (Eng), Chief of the Environmental Protection department at OJSC Magnitogorsk Iron and Steel Works, Russia. Phone: (812)24-79-83. E-mail: drobny@mmk.ru.

Las'kov Sergei Alekseevich – Director of the Health, Industrial Safety and Ecology Department at OJSC Magnitogorsk Iron and Steel Works, Russia. Phone: (812)24-95-81.

Cherkintsev Veacheslav Dmitrievich – D.Sc. (Eng.), Professor, Head of Industrial Ecology and Security Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: eco_safe@magtu.ru. Phone: (3519)29-85-15.

Abstract. The brief analysis of the active systems for industrial and ecological safety at Magnitogorsk Iron and Steel Works OJSC and the basic directions for scientific and technical projects to modernize these systems carried out by the experts of «ММК» OJSC together with the scientists of Nosov Magnitogorsk State Technical University, as well as the data according to the results of these projects and a scientific background of the expediency of realizing actions directed to the increase of the efficiency of functioning systems which provide stable progress of «ММК» OJSC are presented in this article.

Keywords: incidents, industrial traumatism, accidents, the behavior audit, polluting substances, industrial wastes, reclamation.

References

1. Dubrovsky B.A. Magnitka: New Techiques Open New Possibilites. *Stal' [Steel]*. 2012, no. 2, pp. 2-4.
2. Drobny O.F., Cherkintsev V.D. Development and implementation of measures to improve environmental situation within Magnitogorsk industrial hub. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tehnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2013, no. 5, pp. 74-78.
3. Cherkintsev V.D., Gusev A.M., Drobny O.F. Methods and means of reducing man caused impact of agglomeration production of the OJSC Magnitogorsk Iron and Steel Works" on ecosystem of Magnitogorsk industrial area. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tehnicheskogo*

- Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2009, no. 2, pp. 25-29.
4. Cherchintsev V.D., Valeev V.Kh., Somova U.V. Investigation of sludge greasy sediments of metal production. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tehnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2011, no. 2, pp. 80-83.
 5. Cherchintsev V.D., Sayina J.E. Improvement of the absorbing processes of capturing sulfur dioxid. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tehnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2012, no. 1, pp. 21-23.
 6. Cherchintsev V.D., Koshkina V.S., Antipanova N.A., Proshkina O.B. Ecosystems of Slag Pumps influence on Ecosystems of Southern Ural. *Ekologiya i promyshlennost'* [Ecology and industry of Russia]. 2010, febr. pp. 52-54.
-

От редакции

Более десяти лет в Магнитогорском государственном техническом университете им. Г.И. Носова проводятся исследования в рамках научной школы «Развитие теории и технологии проектирования машин, агрегатов и инструмента в процессах обработки давлением и резания» по двум основным направлениям: развитие теоретических и технологических основ совершенствования формообразующего инструмента и процессов формообразования давлением и резанием с целью получения высококачественной продукции под руководством профессора, д-ра техн. наук Огаркова Н.Н.; повышение эффективности металлургического производства за счет увеличения ресурса машин и агрегатов доменного, сталеплавильного и прокатного переделов, снижения себестоимости готовой продукции, путем разработки принципиально новых эффективных конструкций рабочих узлов и улучшения фрикционных условий их функционирования под руководством профессора, д-ра техн. наук Платова С.И.

За разработку комплекса научных и технических решений по созданию и внедрению тяжелонагруженных узлов трения с улучшенными фрикционными условиями функционирования с целью получения высококачественного листового проката для базовых отраслей промышленности в 2011 году коллектив магнитогорских исследователей под руководством д-ра техн. наук, проф. Платова С.И. награжден премией Правительства Российской Федерации в области науки и техники для молодых ученых.

УДК. 621.77.06:621.91.01

РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАШИН, АГРЕГАТОВ И ИНСТРУМЕНТА В ПРОЦЕССАХ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ И РЕЗАНИЯ

Платов С.И.¹, Огарков Н.Н.¹, Терентьев Д.В.¹, Железков О.С.¹, Рубаник В.В.², Вассал Ж.-П.³

¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

² Институт технической акустики Национальной академии наук Беларуси, г. Витебск, Беларусь

³ Технологический институт Университета Жана Моне, Франция

Аннотация. В статье представлены основные достижения и результаты исследований, проводимые коллективом ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» совместно с Технологическим институтом г. Сент-Этьен (Франция), учеными академии наук Республики Беларусь и ведущими предприятиями России.

Ключевые слова: проектирование машин; машины и процессы обработки металлов давлением, резанием; формообразующий инструмент; ресурс машин и агрегатов.

Введение

Более десяти лет в ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» проводятся исследования в рамках научной школы «Развитие теории и технологии проектирования машин, агрегатов и инструмента в процессах обработки давлением и резания».

Научные и технические разработки проводятся по двум основным направлениям:

1. Развитие теоретических и технологических основ совершенствования формообразующего инструмента и процессов формообразования давлением и резанием с целью получения высококачественной продукции (руководитель – профессор, д-р техн. наук Огарков Н.Н.).

2. Повышение эффективности металлургического производства за счет увеличения ресурса машин и агрегатов доменного, сталеплавильного и прокатного переделов, снижения себестоимости готовой продукции, путем разработки принципиально новых эффективных конструкций рабочих узлов и улучшения фрикционных условий их функционирования (руководитель – профессор, д-р техн. наук Платов С.И.).

Технические и технологические разработки

Исследования, направленные на повышение точности формообразования изделий, совершенствование конструкции машин и агрегатов и технологического инструмента с высоким сроком службы, несомненно, способствуют созданию высокотехнологичной конкурентоспособной продукции.

Результаты развития теории и технологии, совершенствования конструкций машин, агрегатов и инструментов опубликованы в статьях ведущих отечественных и зарубежных журналов, монографиях, учебных пособиях, в сборниках научно-технических конференций различного уровня.

Процессы обработки давлением и резанием являются одними из динамично развивающихся способов формообразования высококачественных изделий.

Поэтому развитие теории и технологии проектирования машин, агрегатов и инструментов для этих процессов является перспективной задачей современного машиностроения.

Научные исследования в этих областях находили и находят свое отражение в госбюджетных, хоздоговорных и инициативных инновационных работах исследо-

вателей ранее в рамках механико-машиностроительного факультета, а сейчас в составе Института металлургии, машиностроения и материалообработки.

В результате фундаментальных исследований Н.Н. Огарковым разработаны основы расчетно-прикладной механики процесса резания. В исследованиях принимали участия работники ЗАО «Механоремонтный комплекс» и ЗАО «Магнитогорский завод прокатных валков».

Практическими результатами являются повышение производительности механической обработки прокатных валков и совершенствование конструкций резцов отрезных ножей, пробивных пуансонов и волочильного инструмента [3].

Результаты научно-технических разработок выражаются в защитах кандидатских и докторских диссертаций, патентах на технические решения и конструкции, внедрениях технических решений в производство на предприятиях Уральского региона.

Результаты исследований по данному направлению за последние десять лет опубликованы в более чем ста статьях, трех монографиях, получено двенадцать патентов на полезные модели.

В настоящее время проводятся совместные научные исследования с Технологическим институтом г. Сент-Этьен (Франция) с использованием высокотехнологичного оборудования лабораторий при участии Жана Пьера Вассала.

Одним из способов повышения надежности и долговечности деталей машин является улучшение качества поверхностного слоя за счет улучшения физических свойств, структуры и микрогеометрии поверхности. Прогрессивным методом обработки поверхности является безабразивная ультразвуковая финишная обработка (БУФО), в основе которой лежит процесс поверхностного выглаживания с наложением ультразвуковых колебаний (УЗК).

Исследования процессов БУФО проводятся в МГТУ им. Г.И. Носова под руководством профессора, д-ра техн. наук Железкова О.С. совместно с учеными Национальной академии наук Республики Беларусь [4], ООО «Северо-западный центр ультразвуковых технологий» (г. С-Петербург) и специалистами ООО ИТЦ «ТехноВАК» (г. Череповец).

Необходимость постановки и решения комплекса задач, направленных на повышение эффективности металлургического производства, вызвана тем, что повсеместная практика внедрения агрегатов и оборудования зарубежных производителей не может обеспечить коренные изменения в отрасли.

Исследования, проводимые авторским коллективом под руководством Платова С.И., позволили разработать научно обоснованные технические решения для безконусных загрузочных устройств и скиповых подъемников доменных печей; роликовых секций машин непрерывного литья заготовок; узлов рабочих и опорных валков широкополосных станов горячей прокатки; систем гидроудаления окалина в межвалковом пространстве чистовой группы клетей широкополосного стана горячей прокатки [1, 2].

Научно-технические разработки выполняются на уровне изобретений и соответствуют мировому уров-

ню достижений в данной области.

О значимости и новизне исследований свидетельствуют регулярные публикации авторов в ведущих журналах, издание монографий, получение патентов на изобретения и полезные модели РФ. За последние десять лет по данному направлению исследований опубликовано около ста статей, пять монографий, получено более пятидесяти патентов на изобретения и полезные модели. Разработки коллектива научной школы принимают участие в различных выставках, форумах и т.д. (в том числе международных), по результатам которых получены многочисленные награды.

Наиболее значимыми результатами многолетних исследований являются следующие.

На основе разработанной математической модели, позволяющей прогнозировать толщину смазочной пленки в узлах трения, созданы система смазывания и уплотнительные устройства механизмов скиповых лебедок и гидравлическая система управления клапанами безконусного загрузочного устройства (БЗУ) доменных печей.

Создана физическая модель для моделирования процесса эксплуатации узлов роликовых секций машин непрерывного литья заготовок в зависимости от применяемых смазочных материалов, систем и условий смазывания. Полученные при моделировании результаты послужили основой для создания и промышленного внедрения ряда технических разработок, использование которых в кислородно-конвертерном и электросталеплавильном цехах позволяет увеличить межремонтный период машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) за счет увеличения ресурса работы гидравлических систем, редукторов линии привода и подшипниковых узлов роликов роликовых секций.

Разработана методика оценки долговечности подшипниковых узлов рабочих валков широкополосных станов горячей и холодной прокатки, учитывающая технологические параметры и фрикционные условия эксплуатации. С её использованием получен комплекс технических решений, обеспечивающих повышение эффективности работы широкополосных станов горячей и холодной прокатки.

Выполнено исследование контактных напряжений при взаимодействии опорных и рабочих валков прокатных станов, а также ударных взаимодействиях подушек прокатных валков со стойками станин прокатных клетей.

Разработана новая система гидроудаления окалина в межвалковом пространстве чистовой группы клетей широкополосного стана горячей прокатки, позволяющая существенно понизить уровень пыли и сократить абразивный износ рабочих узлов технологического оборудования.

Разработан комплекс устройств для нанесения антифрикционных покрытий на поверхности трения рабочих узлов металлургического оборудования с целью создания рациональных фрикционных условий их функционирования.

В последние 3-4 года активно развивается научное направление, связанное с подачей смазочного материала на прокатные валки при широкополосной горячей прокатке.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты исследований нашли свое отражение в десяти кандидатских и одной докторской диссертациях. В настоящее время по вышеперечисленным направлениям продолжают работать три аспиранта, докторские диссертации готовят два члена научной школы.

Указанные исследования проводятся совместно со специалистами ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», Национальной академии наук Республики Беларусь, Технологического института г. Сент-Этьен (Франция). Суммарный экономический эффект от внедрения предложенных конструкций и технологий составил более 300 млн руб.

Заключение

За разработку комплекса научных и технических решений по созданию и внедрению тяжело нагруженных узлов трения с улучшенными фрикционными

условиями функционирования с целью получения высококачественного листового проката для базовых отраслей промышленности в 2011 году коллектив исследователей награжден премией Правительства Российской Федерации в области науки и техники для молодых ученых.

Список литературы

1. Повышение надежности и долговечности деталей и узлов металлургического оборудования / Платов С.И., Кандауров Л.Е., Железков О.С., Терентьев Д.В., Мироненков Е.И. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. №2 (26). С. 50-55.
2. Исследование и разработка режимов смазывания подшипниковых узлов рабочих валков стана 2000 горячей прокатки / Платов С.И., Терентьев Д.В., Жиркин Ю.В., Мироненков Е.И., Мезин И.Ю. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. №2 (38). С. 98-100.
3. Огарков Н.Н. Расчетные методы в прикладной механике процесса резания: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. 261 с.
4. Артемьев В.В., Клубович В.В., Рубаник В.В. Ультразвук и обработка материалов: монография. Минск, 2003. 352 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE THEORY AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT FOR MACHINERY, AGGREGATES AND TOOLS DESIGNING IN PRESSURE AND CUTTING PROCESSING

Platov Sergey Iosifovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Head of the department Machines and metal forming technologies, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8 (3519) 29-84-05. E-mail: psipsi@mail.ru.

Terentiev Dmitry Vyacheslavovich – Ph.D. (Eng), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: (3519) 29-84-92. E-mail: knterentyev@mail.ru.

Ogarkov Nikolai Nikolaevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of manufacturing engineering, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8 (3519) 29-84-69. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Zhelezkov Oleg Sergeevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Rubanik Vasili Vasilyevich – D.Sc. (Eng.), Director Institute of technical acoustics National Academy of Sciences, Belarus. E-mail: ita@vitebsk.by.

Vassal Jean-Pierre – Coordinator of Mechanical Engineering department for international Affairs of Jean Monnet University, France. E-mail: jean.perre.vassal@univ-st-etienne.fr.

Abstract. The paper presents the main achievements and results of the studies carried out by a team of Nosov Magnitogorsk State Technical University together with the Technological Institute of Saint-Etienne (France), scientists from National Academy of Sciences of the Republic of Belarus and Russian leading enterprises.

Keywords: machine design, machine and metal forming processes, machining, forming tool; resource machines and units.

References

1. Platov S.I., Kandaurov L.E., Zhelezkov O.S., Terentyev D.V., Mironenkov E.I. Povyshenie nadezhnosti i dolgovechnosti detally i uzlov metallurgicheskogo oborudovaniya [Improving the reliability durability of parts and components of metallurgical equipment]. *Vestnik*

Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta im. G.I. Nosova [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2009, no 2, pp. 50-55.

2. Platov S.I., Terentyev D.V., Zhirkin Yu.V., Mironenkov E.I., Mezin I.Yu. Issledovanie i razrabotka rezhimov smazivaniya podshipnikovih uzlov rabochih valkov stana 2000 goryachey prokatki [Investigation of development mode lubrication of bearing units work rolls of hot rolling mill 2000]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2012, no 2, pp. 98-100.
3. Ogarkov N.N. Raschetnie metodi v prikladnoy mehanike processa rezaniya [Computational methods in applied mechanics of the cutting process]. Magnitogorsk: Nosov State Technical University, 2013. 261 p.
4. Artemyev V.V., Klubovich V.V., Rubanik V.V. Ulytrazvuk i obrabotka materialov [Ultrasound and materials processing]. Minsk, 2003, 352 p.

От редакции

В рамках научной школы МГТУ им. Г.И. Носова «Развитие теории и методов повышения качества и безопасности транспортных и транспортно-технологических процессов» сформирован комплекс логистических методов и методик обеспечения качества и безопасности транспортно-технологических систем на различных уровнях их функционирования: технический – совершенствование конструкции и эксплуатации технических средств и устройств; технологический – рациональная технология транспортных и транспортно-технологических процессов; организационный – эффективная организация продвижения грузопотоков и выполнения операций технологических процессов; социально-экономический – оптимальное формирование транспортно-логистической инфраструктуры городов, регионов и страны. Успешно разрабатываются и применяются в исследованиях и на практике разнообразные математические и имитационные модели, реализующие сформированный комплекс методов.

Основные научные направления школы:

- повышение эффективности систем ремонта и технического обслуживания железнодорожного и автомобильного подвижного состава на основе принципов логистики (д-р техн. наук, проф. Корнилов С.Н.);
- совершенствование технологии и организации грузовых и пассажирских перевозок на различных видах транспорта, развитие транспортной логистики, информационных технологий на транспорте, моделирование транспортных процессов и систем (д-р техн. наук, доц. Рахмангулов А.Н., д-р техн. наук, проф. Корнилов С.Н.);
- развитие теории и методов создания транспортно-технологических машин с регулируемыми параметрами движителя (д-р техн. наук, проф. Кольга А.Д.).

УДК 656.025.4

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СВОЕВРЕМЕННОСТИ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК В ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Рахмангулов А.Н., Корнилов С.Н., Кольга А.Д.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

Аннотация. В условиях повышения требований транспортных клиентов к качеству, в частности своевременности перевозки грузов, необходимы новые формы организации функционирования элементов транспортной системы страны. В статье предлагается способ представления железнодорожных транспортно-технологических систем (ТТС) с использованием принципов логистики. Систематизация параметров потоков в этих системах позволила выявить недостающие параметры – коэффициент сложности структуры вагонопотоков и коэффициент срочности вагонопотоков. Разработаны методики расчета и оценки данных параметров. Для обеспечения своевременности грузовых перевозок на различных уровнях организации функционирования ТТС предложен комплекс транспортно-логистических методов. Разработана обобщенная математическая модель оптимизации параметров логистических потоков в процессе их взаимодействия, позволяющая целенаправленно уменьшать размеры транспортно-грузовых партий и соответственно повышать показатели своевременности перевозок. Для реализации комплекса транспортно-логистических методов предлагается использовать представленную в статье комбинированную аналитико-имитационную модель ТТС. Внедрение описанных в статье разработок позволит системно решать проблему повышения эффективности взаимодействия различных видов транспорта в транспортных узлах с целью сокращения совокупных транспортно-логистических издержек.

Ключевые слова: транспортно-технологическая система, грузовые перевозки, железнодорожный транспорт, своевременность перевозок, грузопоток, аналитико-имитационная модель, логистика, логистическая система, транспортно-логистические потоки, AnyLogic.

Введение

Рынок грузовых перевозок в России в настоящее время характеризуется двумя тенденциями: с одной стороны, наблюдается постоянное повышение требований грузовладельцев к качеству, в частности своевременности перевозок, что связано с необходимостью сокращения затрат на формирование и содержание запасов; с другой – происходит усложнение структуры грузопотоков, вызванное увеличением числа организаций, эксплуатирующих парк подвижного состава на различных видах транспорта. Особенно ощутимо вторая тенденция проявляется на железнодорожном транспорте, где к 2011 году весь парк грузовых вагонов перешел в собственность компаниям-операторам.

В таких условиях требуется совершенствование существующих методов организации работы транспортных систем, в частности транспортно-технологических систем, обеспечивающих непосредственное транспортное обслуживание грузовладельцев. Как показывают многочисленные исследования [1-3], именно на участках взаимодействия транспорта и грузовладельцев, а также магистрального железнодорожного транспорта с транспортом необщего пользования промышленных предприятий возникают потери, связанные с: рассогласованием графиков подвода вагонов и грузов на предприятие и фактической потребности в них; нерациональным выбором маршрута движения вагонопотоков на путях необщего пользования; неоптимальным использованием по-

рожных вагонов на предприятии; недостаточным оперативным взаимодействием железнодорожных станций по пропуску и переработке вагонопотоков. Отмеченные недостатки являются причиной увеличения суточной неравномерности вагонопотоков, что ещё больше усложняет их обработку, приводит к ухудшению показателей качества (своевременности) перевозок, а также к увеличению времени простоя вагонов на путях необщего пользования.

Теория и технологические разработки

Анализ динамики основных показателей работы железнодорожного транспорта в Магнитогорском, Челябинском, Липецком, Новотроицком, Ашинском, Белорецком транспортных узлах, выполненный в период с 1996 по 2012 гг., позволил выявить и систематизировать параметры внутренней и внешней среды железнодорожных транспортно-технологических систем (ТТС), оказывающие значимое влияние на эффективность взаимодействия различных видов транспорта и производства. В качестве основы систематизации параметров ТТС было использовано представление этой системы как транспортно-логистической. Она включает в себя пять структурных элементов: входной, выходной, накопительный, транспортный и перерабатывающий. К транспортно-логистическим потокам отнесены: материальный поток – грузо-, вагоно- и поездопоток; поток услуг – формализовано описывает пропускную способность и вместимость транспортных устройств, используемых для продвижения материального потока, а также всей инфраструктуры ТТС, необходимой для переработки логистических потоков; информационный поток – поток данных об изменении параметров элементов ТТС и всех логистических потоков; финансово-экономический поток – поток данных о затратах, возникающих в процессе функционирования и развития железнодорожных ТТС.

Для каждого транспортно-логистического потока определен комплекс параметров и показателей [5, 7, 8], включающий в себя как общепринятые параметры, так и показатели, впервые предложенные для описания ТТС: коэффициент сложности грузо- и вагонопотоков; показатели своевременности транспортного обслуживания основного производства и клиентов транспорта; коэффициент срочности вагонопотоков.

Коэффициент сложности грузо- и вагонопотоков рассчитывается, в соответствии с эмпирическим правилом Парето, как отношение числа маломощных струй, на которые приходится не более 20% среднесуточного объема перевозок, к числу мощных струй, обеспечивающих 80% объема. Коэффициент сложности используется при расчете количества оперативной управленческой информации и при оценке эффективности организа-

ционной структуры оперативного управления.

К показателям своевременности транспортного обслуживания отнесены показатели регулярности, срочности перевозок, а также перевозки к назначенному сроку. Разработанная методика расчета этих показателей представлена в работах [4, 5].

Для расчета показателей своевременности грузовых перевозок в ТТС разработана методика, основанная на учете отклонений фактических моментов прибытия транспортно-грузовых партий на грузовые фронты от заданных. Эти отклонения предлагается оценивать с помощью коэффициента срочности вагонопотоков K_c^t . Величина коэффициента срочности в момент времени t в общем случае определяется как приведенное к единице значение разности между расчетным (прогноznым) моментом прибытия транспортно-грузовой партии (её фактическим размером) на грузовой фронт и потребным моментом (оптимальным размером транспортно-грузовой партии).

Выбор конкретного способа расчета K_c^t зависит от применяемой системы управления запасами [6].

В результате группировки исследуемых параметров транспортно-логистических потоков была произведена классификация подсистем железнодорожных ТТС по уровням организации. Уровни организации выделялись в зависимости от риска возникновения потерь в результате несвоевременных перевозок. Для каждого уровня разработан соответствующий транспортно-логистический метод оптимизации (см. таблицу).

Разработанный комплекс методов является основой системы организации грузопотоков в ТТС, обеспечивающей достижение баланса между потребностями грузовладельцев в уменьшении размеров запасов и транспортных партий, с одной стороны, и уровнем использования резервов пропускной способности и вместимости транспортных устройств (фактически, транспортных затрат) – с другой. При этом определяющим фактором в таком балансе выступают потребности грузовладельцев, а возможности транспорта следует рассматривать в качестве ограничений.

Для определения условий достижения и поддержания баланса при изменении параметров транспортно-логистических потоков ТТС представляется как система, состоящая из накопительных элементов S_i , соединенных транспортными элементами или потоками $q_{i+1,i}$ (рис. 1) [16].

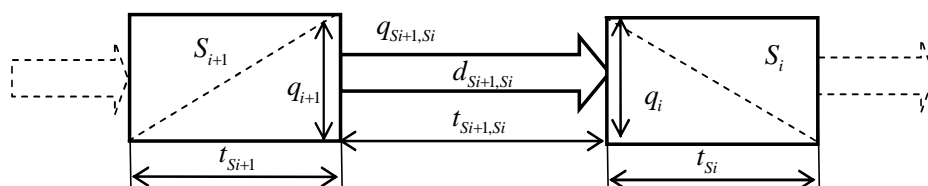


Рис. 1. Схема формализованного представления ТТС

Комплекс транспортно-логистических методов организации функционирования железнодорожных транспортно-технологических систем

Уровень организации ТТС	Транспортно-логистический метод	Критерий оптимальности и краткая характеристика метода
I – технические средства и устройства	Оптимальное распределение ресурсов в системе ремонта в соответствии с потребностями в исправной технике [9-12]	Минимизация прироста отказов технических средств и устройств
II – грузовой фронт	Выбор оптимального размера транспортно-грузовой партии [4, 5, 15]	Оптимальный размер партии выбирается по критерию минимума суммарных транспортно-складских затрат в зависимости от выбранного типа системы управления запасами
III – железнодорожная станция	Оптимальное распределение вагонов по грузовым фронтам [5]	Приоритет выполнения технологических операций определяется по критерию минимума транспортных затрат при условии выполнения заявок на подачу-уборку вагонов
IV – железнодорожный район	Методы «структурной технологии» (оптимизация использования пропускной способности и вместимости транспортных устройств) [13, 14]	Минимизация транспортных затрат в результате оперативного выравнивания величин пропускной способности и вместимости транспортных устройств путем применения системы технологических способов «структурной технологии»
V – железнодорожные пути необщего пользования	Оптимизация маршрутов движения вагонопотоков [1, 3, 17]	Минимизация транспортных затрат на продвижение вагонопотоков в результате его пропуска по станциям с более низким оперативным уровнем использования пропускной способности
VI – железнодорожный транспортный узел	Оптимизация структуры вагонопотоков [1, 5, 6]	Минимизация транспортных затрат и потерь у клиентов транспорта в результате изменения скорости продвижения отдельных групп вагонов путем изменения состава формируемых в транспортном узле поездов
VII – региональная ТТС	Методы усиления пропускной и перерабатывающей способности элементов региональных ТТС [13, 14, 18, 19]	Минимизация суммарных региональных транспортно-производственных затрат в результате последовательного развития транспортной инфраструктуры региона
VIII – макрологистическая ТТС	Методы выбора мест размещения элементов макрологистической ТТС [20-22]	Минимизация доли логистических затрат в себестоимости продукции в результате рационального размещения элементов макрологистической ТТС

Основными параметрами накопительного элемента будем считать его вместимость q_i и время t_{Si} , затрачиваемое на полное исчерпание (пополнение) запаса q_i , при заданной интенсивности расхода (пополнения) запаса. Параметры транспортного элемента – пропускная способность $d_{Si+1, Si}$ и время $t_{Si+1, Si}$, затрачиваемое на движение по элементу потока мощностью $q_{Si+1, Si}$.

Тогда условия достижения баланса по потоку, пропускаемому цепью из N накопительных элементов, в общем виде запишутся как

$$t_{Si} \geq t_{Si+1} + t_{Si+1, Si}, \quad (1)$$

$$\text{при } q_i = q_{i+1}, \text{ для } i = 1, 2, \dots, N-1. \quad (2)$$

Соблюдение данных условий обеспечивает сбалансированное продвижение суммарного потока по элементам логистической системы и эффективное использование по времени и по производительности инфраструктуры ТТС, поскольку на каждом расчетном этапе обеспечивается равенство интенсивностей переработки потоков в каждом из элементов системы.

Поскольку вместимости накопительных элементов, участвующих в пропуске струи потока q , а так-

же размеры запасов в расчетный момент t в разных накопительных элементах могут различаться, то для соблюдения условий баланса (1), (2) необходимо изменить структуру струи q путем добавления или исключения из нее других струй. В противном случае произойдет нарушение баланса по струе q .

Задача поиска минимальных значений q для накопительных элементов, являющихся потребителями потока (подмножество M накопительных элементов)

$$F = \sum_{i=1}^M q_i \rightarrow \min, \quad (3)$$

при условиях (1), (2), представляет собой разновидность задачи о «максимальном потоке». В результате ее решения определяется минимальный допустимый размер транспортно-грузовой партии, доставляемой каждому потребителю, при условии полного использования пропускной способности и вместимости транспортных элементов системы ТТС.

Разработанная модель (1)-(3) является универсальной для оптимизации как транспортных, так и ресурсных потоков в ТТС. Определение условий баланса по финансово-экономическим потокам рекомендуется использовать в качестве основы для создания системы взаиморасчетов между структурными подразделениями ТТС, для оценки эффективности

функционирования элементов этой системы. Модель также целесообразно применять для поиска и последующего устранения «узких мест» – элементов ТТС, обладающих наименьшей величиной пропускной способности или вместимости с последующим определением потребного потока инвестиций, т.е. для обоснования инвестиционных затрат на развитие ТТС. Разнообразные действия и решения по достижению баланса требуют информационной поддержки, представляющей, в терминах разработанной модели, систему информационных потоков – сообщений о нарушении баланса по остальным логистическим потокам в ТТС. Это требует создания соответствующей информационной системы и определенной организационной структуры управления ТТС.

Целевую функцию (3) разработанной общей модели предлагается использовать в качестве универсального интегрального критерия эффективности функционирования ТТС. Данный критерий определяет стратегическую цель ТТС – повышение качества (своевременности) транспортного обслуживания клиентов путем целенаправленного уменьшения величины транспортно-грузовых партий, поскольку минимизирует запасы в накопительных элементах – потребителях транспортного потока. Критерий позволяет оценить транспортные элементы ТТС на возможность пропуска потока максимальной сложности, образованного транспортно-грузовыми партиями минимального размера.

Разработанная модель динамического баланса является в общем случае непрерывной, поскольку интервал времени между моментами изменения мощности потоков и величины запасов стремится к нулю. Транспортно-логистические методы, позволяющие оптимизировать параметры потоков, являются дискретными. Для повышения точности результатов и решения задач организации функционирования ТТС предлагается весь комплекс математических оптимизационных моделей использовать в совокупности с имитационной моделью.

Наиболее универсальным инструментом построения комбинированных дискретно-непрерывных аналитико-имитационных моделей в настоящее время является пакет AnyLogic. Данная система имитационного моделирования объединяет все известные подходы к имитационному моделированию в рамках одной модели. Кроме того, результаты отдельных имитационных экспериментов могут быть использованы в качестве исходных данных математической оптимизационной модели.

Системно-динамическая часть разработанной модели позволяет оценивать пропускную способность и вместимость транспортных устройств при различных параметрах вагонопотоков в системе [21]. Модельные значения потоков предлагается использовать в качестве исходных данных для дискретно-событийной модели технологии работы железнодорожных станций ТТС [23]. При помощи дискретно-событийной модели железнодорожных станций ТТС описываются технологические способы, реализуемые в рамках разработанного комплекса транспортно-логистических методов организации функционирования ТТС [24, 25].

Полученные в результате эксперимента с имитационной моделью данные используются в качестве

исходных для математических оптимизационных моделей. Результаты оптимизации, в свою очередь, используются для корректировки параметров имитационной модели на следующем периоде оптимизации.

Основное отличие разработанной аналитико-имитационной модели (рис. 2) от известных заключается в использовании различных подходов к имитационному моделированию (укрупненного – системно-динамического и детализированного – дискретно-событийного) в рамках одной модели, что позволяет моделировать функционирование ТТС на всех уровнях организации этих систем, разрабатывать стратегии повышения уровня организации ТТС.

Заключение

Исследование эффективности разработанного комплекса методов и моделей позволило сформулировать принципы организации функционирования железнодорожных транспортно-технологических систем:

- динамическая сбалансированность мощности транспортных и ресурсных потоков с пропускной способностью и вместимостью элементов транспортной инфраструктуры;

- оптимальная, по критерию минимума суммарных транспортных затрат и потерь потребителей транспортной продукции, последовательность снятия ограничений в пропуске и переработке транспортных и ресурсных потоков в ТТС;

- программно-целевое формирование системы организации продвижения грузо- и вагонопотоков в ТТС, основанное на учете инфраструктурных возможностей региона расположения ТТС.

Апробация разработанной теории организации функционирования ТТС и комплекса транспортно-логистических методов была выполнена при разработке «Концепции и Программы усиления пропускной и перерабатывающей способности железнодорожных станций и перегонов пути необщего пользования ОАО «ММК»», а также при изменении организации работы промышленного железнодорожного транспорта Новоліпецкого и Ашинского металлургических комбинатов.

Реализация разработанных транспортно-логистических методов позволила снизить затраты на реконструкцию транспортной инфраструктуры для данных предприятий в среднем на 25% [17, 18]. Суммарный экономический эффект в результате реализации Программы развития ТТС для ОАО «ММК» составил 310000 тыс. руб. Максимальный срок окупаемости инвестиций в реализацию всего комплекса мероприятий – 35 месяцев.

Представленный в статье подход к снижению потерь при взаимодействии транспорта и производства в ТТС является, на взгляд авторов, универсальным и может быть использован как основа для решения проблемы повышения эффективности взаимодействия различных видов транспорта в транспортных узлах. Описанная в статье комбинированная аналитико-имитационная модель может составить основу математического обеспечения интеллектуальных транспортных систем и применяться как для решения задач планирования развития транспортного комплекса страны, так и при оперативном управлении транспортными потоками.



Рис. 2. Схема взаимосвязи блоков комбинированной аналитико-имитационной модели ТТС

Список литературы

- Осинцев Н.А., Рахмангулов А.Н. Оценка резервов пропускной и перерабатывающей способности технологических железнодорожных станций с использованием теории нечетких множеств // Вестник транспорта Поволжья. 2011. №1. С. 45а-49.
- Багинова В.В., Рахмангулов А.Н., Осинцев Н.А. Контроль вагонопотоков на пути необщего пользования // Мир транспорта. 2010. №3(31). С. 108-113.
- Осинцев Н.А., Рахмангулов А.Н. Управление вагонопотоками в промышленных транспортных системах // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №1(41). С. 16-20.
- Транспортная логистика / Рахмангулов А.Н., Трофимов С.В., Гавришев С.Е., Макаров А.М. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2000. 372 с.
- Рахмангулов А.Н. Методологические основы организации функционирования промышленных железнодорожных транспортно-технологических систем: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2013. 374 с.
- Рахмангулов А.Н. Разработка методики транспортного обслуживания предприятий на основе оптимизации взаимодействия сортировочных комплексов промышленного и магистрального железнодорожного транспорта: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1996. 22 с.
- Кайгородцев А.А., Рахмангулов А.Н. Факторы эффективности логистических распределительных центров // Вестник транспорта Поволжья. 2013. №2(38). С.11-19.
- Рахмангулов А.Н., Мохова Н.Е. Параметры и показатели грузопотоков в системе управления внешними перевозками машиностроительных предприятий // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2013. Т.1. С. 96-99.
- Логистика ремонта железнодорожного подвижного состава / Корнилов С.Н., Рахмангулов А.Г., Дудкин Е.П., Горшенин А.А. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2005. 182 с.
- Корнилов С.Н. Формирование и развитие системы ремонта железнодорожного подвижного состава промышленных предприятий на основе логистических принципов: дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2004. 267 с.
- Кольга А.Д., Хажиев В.А. Пооперационное планирование ремонтов горного оборудования // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2008. №3. С. 5-7.
- Кольга А.Д., Шарипов Р.Х. Оценка ремонтной технологичности погружно-выемочных машин // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2008. С. 160-167.
- Трофимов С.В., Рахмангулов А.Н., Корнилов С.Н. Методы развития систем промышленного железнодорожного транспорта в изменяющихся условиях деятельности предприятий. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2004. 235 с.
- Трофимов С.В., Рахмангулов А.Н. Выбор оптимальных методов оперативного управления работой промышленных транспортных систем. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2000. 145 с.
- Мохова Н.Е., Рахмангулов А.Н. Обеспечение своевременности грузовых перевозок машиностроительных предприятий // Сборник научных трудов SWorld. 2012. Т.1. №3. С.8-14.
- Багинова В.В., Рахмангулов А.Н. Адаптивная организация вагонопотоков // Мир транспорта. 2011. №3(36). С. 132-138.
- Разработка программных методов сокращения простоя вагонов ОАО «РЖД» на основе оптимизации маршрутов движения вагонопотоков на подъездном пути ОАО «ММК»: отчет о НИР / ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова»; рук.Рахмангулов А.Н.; исполн.: Осинцев Н.А.[и др.]. Магнитогорск, 2008. 134 с. №01200805160.
- Разработка концепции и программы усиления пропускной и перерабатывающей способности железнодорожных станций и перегонов ОАО «ММК» на период до 2015 года: отчет о НИР / ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова»; рук. Рахмангулов А.Н.; исполн.:Корнилов С.Н. [и др.]. Магнитогорск, 2011. 204 с. №01201001058.
- Рахмангулов А.Н., Трофимов С.В., Корнилов С.Н. Управление транспортными системами. Теоретические основы. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2001. 191 с.
- Рахмангулов А.Н., Копылова О.А. Проблемы выбора места размещения логистических центров // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2011. №1. С. 58-67.
- Рахмангулов А.Н., Копылова О.А. Применение метода системной динамики для исследования факторов размещения элементов транспортно-логистической инфраструктуры // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2012. №2. С. 92-97.
- Рахмангулов А.Н., Кайгородцев А.А. Проблема выбора места размещения логистического распределительного центра. Существующие подходы к решению // Современные проблемы транспортного ком-

- плекса России. 2011. №1. С.39-48.
23. Рахмангулов А.Н., Мишкuroв П.Н. Особенности построения имитационной модели технологии работы железнодорожной станции в системе AnyLogic // Сборник научных трудов SWorld. 2012. Т.2. №4. С. 7-13.
 24. Рахмангулов А.Н., Мишкuroв П.Н., Муравьев Д.С. Использование имитационного моделирования для оценки перерабатывающей способности морских портов и обоснования необходимости сооружения «сухого» порта // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2013. №4. С. 66-72.
 25. Рахмангулов А.Н., Мишкuroв П.Н. К вопросу о типизации промышленных железнодорожных станций // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2013. №4. С. 133-137.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

TIMELINESS OF FREIGHT TRAFFIC IN TRANSPORT TECHNOLOGICAL SYSTEMS

Rakhmangulov Aleksandr Nelevich – D.Sc. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8 (3519) 29-85-16. E-mail: ran@logintra.ru.

Kornilov Sergey Nikolaevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Head of Industrial Transport department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8 (3519) 29-85-34. E-mail: kornilov_s_n@logintra.ru.

Kolga Anatoliy Dmitrievich – D.Sc. (Eng.), Professor, Head of Mining Machinery and Transportation Systems department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8 (3519) 29-85-45. E-mail: kad-55@magtu.ru.

Abstract. At present transport customers in Russia show increased requirements to quality (timeliness) of freight traffic. New organizational forms are necessary for transportation system of the country. The way of the description of railway transportation and technological systems (TTS), based on logistics principles, is presented in the article. This way has allowed to systematize parameters of logistical streams in TTS and to reveal lacking for maintenance of timeliness of transportations parameters – factor of traffic volumes structure complexity and factor of volumes promptness. The complex of transport-logistical methods is developed for maintenance of freight traffic timeliness at different levels of TTS organization. The generalized mathematical model of logistical streams parameters optimization in TTS is offered. The mathematical model defines ways of purposeful reduction of transport-cargo parties sizes and accordingly to raise indicators of timeliness of transport-logistical streams. Combined analytic-simulation model TTS is presented in article. The given model is offered to be used as the tool for a transport-logistical methods complex realization. The described developments are base for a solution for the transport nodes efficiency problem, they can be used for the reduction of cumulative transport-logistical costs purpose.

Keywords: transport technological system, freight traffic, railway transportation, timeliness of transportations, goods traffic, analytics-simulation model, logistics, logistical system, transport-logistical streams, AnyLogic.

References

1. Osintsev N.A., Rakhmangulov A.N. Ocenka rezervov propusknoi i pererabatyvaiushchei sposobnosti tekhnologicheskikh zheleznodorozhnykh stantsii s ispolzovaniem teorii nechetkikh mnozhestv. [Evaluating the reserves of the traffic and handling capacity of marshalling yards using the fuzzy-set theory]. *Vestnik transporta Povolzhia* [The Bulletin of the Volga Region Transport], 2011, no. 1, pp. 45a-49.
2. Baginova V.V., Rakhmangulov A.N., Osintsev N.A. Kontrol vagonopotokov na puti neobshchego polzovaniia. [Operation control of railcar flows at non-public railtrack]. *Mir transporta* [The Transport World], 2010, no. 3(31), pp. 108-113.
3. Osintsev N.A., Rakhmangulov A.N. Upravlenie vagonopotokami v promyshlennykh transportnykh sistemakh. [Railcar flow management in industrial transport systems]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2013, no. 1(41), pp.16-20.
4. Rakhmangulov A.N., Trofimov S.V., Gavrishchev S.E., Makarov A.M. *Transportnaya logistika* [Transport logistics]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University 2000, 372 p.
5. Rakhmangulov A.N. Metodologicheskie osnovy organizatsii funkcionirovaniya promyshlennykh zheleznodorozhnykh transportno-tekhnologicheskikh system: dis. ... dokt. tekhn. nauk [Methodological bases of the industrial railway transport-technological systems functioning organization: Doctoral dissertation]. Moscow, 2013, 374 p.
6. Rakhmangulov A.N. Razrabotka metodiki transportnogo obsluzhivaniya predpriyatii na osnove optimizatsii vzaimodeistviya sortirovochnykh kompleksov promyshlennogo i magistralnogo zheleznodorozhnogo transporta: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. [Development of a transport service technique at the enterprises on the basis of sorting complexes of an industrial and main railway transportation interaction optimization: Doctoral dissertation author's abstract]. Moscow, 1996, 22 p.
7. Kaigorodtcev A.A., Rakhmangulov A.N. Faktory effektivnosti logisticheskikh raspredelitelnykh centrov. [Factors of logistics and distribution centers efficiency]. *Vestnik transporta Povolzhia* [The Bulletin of the Volga Region Transport], 2013, no. 2(38), pp. 11-19.
8. Rakhmangulov A.N., Mokhova N.E. Parametry i pokazateli gruzopotokov v sisteme upravleniya vneshnimi perevozkami mashinostroitelnykh predpriyatii. [Parameters and indicators of goods traffics in a control system of external transportations of the machine-building enterprises]. *Aktualnye problemy sovremennoi nauki, tekhniki i obrazovaniia* [Actual Problems of a Modern Science, Technics and Education], 2013, vol. 1, pp. 96-99.
9. Kornilov S.N., Rakhmangulov A.N., Dudkin E.P., Gorshenin A.A. *Logistika remonta zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava* [Railway rolling stock logistics of repair]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2005, 182 p.
10. Kornilov S.N. Formirovanie i razvitie sistemy remonta zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava promyshlennykh predpriyatii na osnove logisticheskikh printsiptov: dis. ... dokt. tekhn. nauk [Formation and development of a railway rolling stock of the industrial enterprises repair system on the basis of logistical principles: Doctoral dissertation]. Saint-Petersburg, 2004, 267 p.
11. Kolga A.D., Khashiev V.A. *Pooperatsionnoe planirovanie remontov goronogo oborudovaniya* [Functional planning of mining equipment maintenance]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2008, no. 3, pp.5-7.
12. Kolga A.D., Sharipov R.Kh. Ocenka remontnoi tekhnologichnosti pogruzochno-vyemochnykh mashin. [Estimation of repair adaptability to manufacture of the mountain equipment]. *Dобыча, obrabotka i primenenie prirodnogo kamnya* [Extraction, processing and application of a natural stone], 2008, pp. 160-167.
13. Trofimov S.V., Rakhmangulov A.N., Kornilov S.N. Metody razvitiya sistem promyshlennogo zheleznodorozhnogo transporta v izmeniaushchikhsya usloviyakh deyatelnosti predpriyatii. [Industrial railway transport systems development methods in changing conditions of the enterprises activity]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2004, 235 p.
14. Trofimov S.V., Rakhmangulov A.N. Vybor optimalnykh metodov operativnogo upravleniya rabotoi promyshlennykh transportnykh sistem. [Industrial transport system's operational management optimum methods choice]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2000, 145 p.
15. Mokhova N.E., Rakhmangulov A.N. Obespechenie svoevremennosti gruzovykh perevozkov mashinostroitelnykh predpriyatii. [Maintenance of timeliness of freight traffic of the machine-building enterprises]. *Sbornik nauchnykh trudov SWorld* [Collection of Scientific Papers SWorld], 2012, vol. 1, no.3, pp. 8-14.
16. Baginova V.V., Rakhmangulov A.N. Adaptivnaia organizatsiia vagonopolokov. [Adaptive System of Freight Traffic Operation]. *Mir transporta* [The Transport World], 2011, no. 3(36), pp. 132-138.
17. Rakhmangulov A.N., Osintsev N.A. Razrabotka programnykh metodov sokrashcheniya prostoya vagonov OAO «RZHD» na osnove optimizatsii marshrutov dvizheniya vagonopotokov na podezdnom puti OJSC «MMK»: onchet o NIR. [Program methods of idle time reduction of Open Society «Russian Railway» cars development on the basis of optimization of traffic volumes routes optimization on OJSC «MMK» rail road: unpublished]. Magnitogorsk, 2008, 134 p., №01200805160.
18. Rakhmangulov A.N., Kornilov S.N. Razrabotka kontseptcii i programmy usileniya propusknoi i pererabatyvaiushchei sposobnosti zheleznodorozhnykh stantsii i peregonov OAO «MMK» na period do 2015 goda: onchet o NIR [The concept and the program of strengthening of throughput and processing ability of OJSC «MMK» railway yards development stages for the period till 2015: unpublished]. Magnitogorsk, 2011, 204 p., №01200805160.

19. Trofimov S.V., Rakhmangulov A.N., Kornilov S.N. *Upravlenie transportnymi sistemami. Teoreticheskie osnovy* [Management of transport systems. Theoretical bases]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2001, 191 p.
20. Rakhmangulov A.N., Kopylova O.A. Problemy vybora mesta razmeshcheniya logisticheskikh centrov. [A choice of a logistical centers place problems]. *Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii* [Modern Problems of Russia Transport Complex], 2011, no. 1, pp. 58-67.
21. Rakhmangulov A.N., Kopylova O.A. Primenenie metoda sistemnoi dinamiki dlia issledovaniia faktorov razmeshcheniia elementov transportnolagisticheskoi infrastruktury. [System dynamics method application for research of a transport-logistical infrastructure elements factors placing]. *Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii* [Modern Problems of Russia Transport Complex], 2012, no. 2, pp. 92-97.
22. Rakhmangulov A.N., Kaigorodtcev A.A. Problema vybora mesta razmeshcheniya logisticheskogo raspredelitel'nogo centra. Sushchestvuiushchie podhody k resheniu. [Logistical distribution center choice of a place problem. Existing approaches to the decision]. *Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii* [Modern Problems of Russia Transport Complex], 2011, no. 1, pp. 39-48.
23. Rakhmangulov A.N., Mishkurov P.N. Osobennosti postroeniia imitacionnoi modeli tekhnologii raboty zheleznodorozhnoi stantcii v sisteme AnyLogic. [Features of railway yard technology simulation model construction in AnyLogic system]. *Sbornik nauchnykh trudov SWorld* [Collection of Scientific Papers SWorld], 2012, vol. 2, no. 4, pp.7-13.
24. Rakhmangulov A.N., Mishkurov P.N., Muraviev D.S. Ispolzovanie imitacionnogo modelirovaniya dlia ocenki pererabatyvaiushchei sposobnosti morskikh portov i obosnovaniya neobходимosti sooruzheniya «suhogo» porta. [Using simulation process for evaluating the ability of sea ports and necessary facilities study «dry» port]. *Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii* [Modern Problems of Russia Transport Complex], 2013, no. 4, pp. 66-72.
25. Rakhmangulov A.N., Mishkurov P.N. K voprosu o tipizatsii promyshlennykh zheleznodorozhnykh stantcii. [Up to industrial railway station typing]. *Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii* [Modern Problems of Russia Transport Complex], 2013, no. 4, pp. 133-137.

От редакции

В рамках научной школы МГТУ им. Г.И. Носова «Математическое моделирование тепловых, гидродинамических процессов и автоматизация металлургического производства» при непосредственном участии А.Г. Бутковского было создано и развито научное направление по оптимальному управлению технологическими процессами в металлургии. Первым руководителем этого направления в МГМИ стал д-р техн. наук Рябков В.М. В исследовании активное участие принимали д-р техн. наук, Девятков Д.Х., Парсункин Б.Н., канд. техн. наук, Трубицын Г.В., Сотников Г.В. и др. После образования двух новых кафедр – промышленной кибернетики и систем управления (ныне автоматизированных систем управления) и вычислительной техники и прикладной математики (ныне вычислительной техники и программирования) появились два направления развития систем оптимального управления распределенными технологическими процессами (д-р техн. наук, Парсункин Б.Н.) и математическое моделирование тепловых и гидродинамических процессов для металлургического производства на основе современных методов (д-р техн. наук, Девятков Д.Х.). Создано Магнитогорское отделение РУО Академии инженерных наук им. А.М. Прохорова. За комплекс работ по автоматической оптимизации управления технологическими процессами в металлургии в 2013 году Президиум РУО АИН им. А.М. Прохорова наградила пятерых членов научного направления медалями им. В.Е. Грум-Гржимайло (Парсункин Б.Н., Ячиков И.М., Логунова О.С., Ахметов У.Б., Андреев С.М.).

УДК 681.51+62-69

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ НАГРЕВОМ ЗАГОТОВОК В МЕТОДИЧЕСКИХ ПЕЧАХ ЛИСТОПРОКАТНЫХ СТАНОВ

Андреев С.М.¹, Парсункин Б.Н.¹, Ахметов Т.У.²¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия² НПО «Автоматика», г. Магнитогорск, Россия

Аннотация. Методические печи листопрокатных станов горячей прокатки представляют собой многозонные нагревательные устройства проходного типа, в которых одновременно протекает несколько взаимосвязанных высокотемпературных процессов. Необходимость учета взаимовлияния процессов друг на друга вносит дополнительные требования к реализации контуров управления отдельными параметрами процесса. Необходимость учета взаимовлияния процессов особенно актуально стоит при использовании оптимизирующих контуров управления, так как это влияние проявляется в смещении статических характеристик оптимизируемых процессов из-за действия вносимых в процесс возмущений со стороны других контуров управления. Целью работы является разработка и исследование поведения системы оптимизации управления основными технологическими параметрами нагревательной печи при наличии значительных возмущений со стороны стабилизирующих контуров при смене режимов работы нагревательной печи. В результате проведенных исследований была разработана структура оптимизирующей системы управления, реализующей энергосберегающий режим работы нагревательной печи. Результаты моделирования работы разработанной системы показали, что система управления успешно реализует энергосберегающие режимы работы нагревательной печи в условиях значительных возмущений со стороны стабилизирующих контуров управления.

Ключевые слова: методическая печь, нагрев слябовых заготовок, энергосберегающие режимы нагрева, система оптимального управления, переходные процессы в контурах управления, автоматизированная система

Введение

Промышленное производство горячекатаных полос является крупнейшим потребителем тепловой и электрической энергии в черной металлургии. Поэтому вопросы энергосберегающего управления этим энергоемким процессом весьма актуальны [1-4].

При разработке автоматизированной системы оптимального энергосберегающего управления процессом нагрева слябовых заготовок необходимо учитывать, что в промышленных нагревательных печах одновременно может происходить несколько различных, часто тесно взаимосвязанных высокотемпературных процессов [5], которые в итоге определяют конечную температуру нагреваемых заготовок на выходе из печи [6].

Необходимость учета взаимовлияния особенно актуально стоит при использовании оптимизирующих контуров управления, так как это влияние проявляется

в смещении (дрейфе) статических характеристик оптимизируемых процессов из-за действия, вносимых в процесс возмущений, со стороны других контуров управления [5].

Разработанная автоматизированная система оптимального энергосберегающего управления нагревом непрерывнолитых заготовок перед прокаткой содержит три взаимосвязанных контура управления тепловым режимом в каждой отапливаемой зоне нагревательной печи [5, 7].

1. Контур оптимизации управления ведущим температурным параметром управляемого процесса нагрева, в качестве которого используется температура рабочего пространства в зоне печи или температура поверхности нагреваемого металла.

2. Контур оптимизации управления процессом сжигания топлива в рабочем пространстве отапливаем-

мой зоны, являющийся ведомым по отношению к контуру управления температурным режимом.

3. Контур оптимизации управления газодинамическим режимом (давлением) в рабочем пространстве всей нагревательной печи, являющийся ведомым по отношению к двум ранее названным контурам и общим для всех отапливаемых зон.

Процесс оптимизации управления сводится к определению и поддержанию такой величины управляемого процесса, которая соответствует минимально возможному текущему расходу топлива при работе основного стабилизирующего контура управления тепловым режимом.

Математическая модель взаимосвязанных контуров оптимизации управления технологическими параметрами нагрева

Структурная схема модели автоматизированной системы энергосберегающего оптимального управления тепловым режимом в рабочем пространстве каждой отапливаемой зоны нагревательной печи с целью минимизации удельного расхода топлива представлена на рис. 1.

Текущее заданное значение температурного параметра $t_z(\tau)$ формируется как оптимальная траектория системы оптимального управления в ЭВМ [4, 8].

Текущее значение используемого ведущего температурного параметра $t_f(\tau)$ (в реальных условиях этот параметр контролируется техническими средствами) аппроксимируется последовательным соединением статического звена с унимодальной экстремальной вида характеристикой $\bar{t}_F(\tau) = f[V_G(\tau), V_A(\tau)]$ и динамического инерционного звена первого порядка с постоянной времени T_0 .

Вид и положение статической характеристики определяются текущими величинами расхода воздуха $V_A(\tau)$, расхода топлива $V_G(\tau)$ и производительностью печи $D(\tau)$, определяющей текущие значения $V_G(\tau)$ и $V_A(\tau)$ по зонам нагрева в соответствии с оптимальной траекторией $t_z(\tau)$.

Величина сигнала рассогласования $\varepsilon(\tau)$ формируется элементом сравнения ЭС1 в соответствии с выражением

$$\varepsilon(\tau) = t_z(\tau) - t_f(\tau), \quad (1)$$

где $t_z(\tau)$ – заданное значение температурного параметра в соответствии с траекторией оптимального энергосберегающего режима управления нагревом, формируемой АСУТП верхнего уровня.

Сигнал рассогласования подается на вход ПИД-регулятора, который в соответствии с принятым законом регулирования и исполнительным механизмом постоянной скорости интегрирующего типа ИМ1 формирует управляющее воздействие для перемещения регулирующего клапана расхода топлива (РКТ), имеющего нелинейную расходную характеристику.

Текущее положение выходного вала ИМ1 в пределах 0-100% возможного, ограниченного конечными выключателями, хода определяется в соответствии с выражением

$$X_G(\tau) = X_0 + K_{M1} \int_0^\tau \sigma_1(\tau) d\tau, \quad (2)$$

где $\sigma_1(\tau) \in (-1, 0, +1)$ – знаковая переключающая функция, формируемая ПИД-регулятором, определяющая с учетом принятой зоны нечувствительности стабилизирующего контура направление текущего изменения $X_G(\tau)$; K_{M1} – постоянная скорость перемещения выходного вала ИМ1, % хода/с, определяемая технической характеристикой ИМ1; X_0 – начальное положение выходного вала ИМ1.

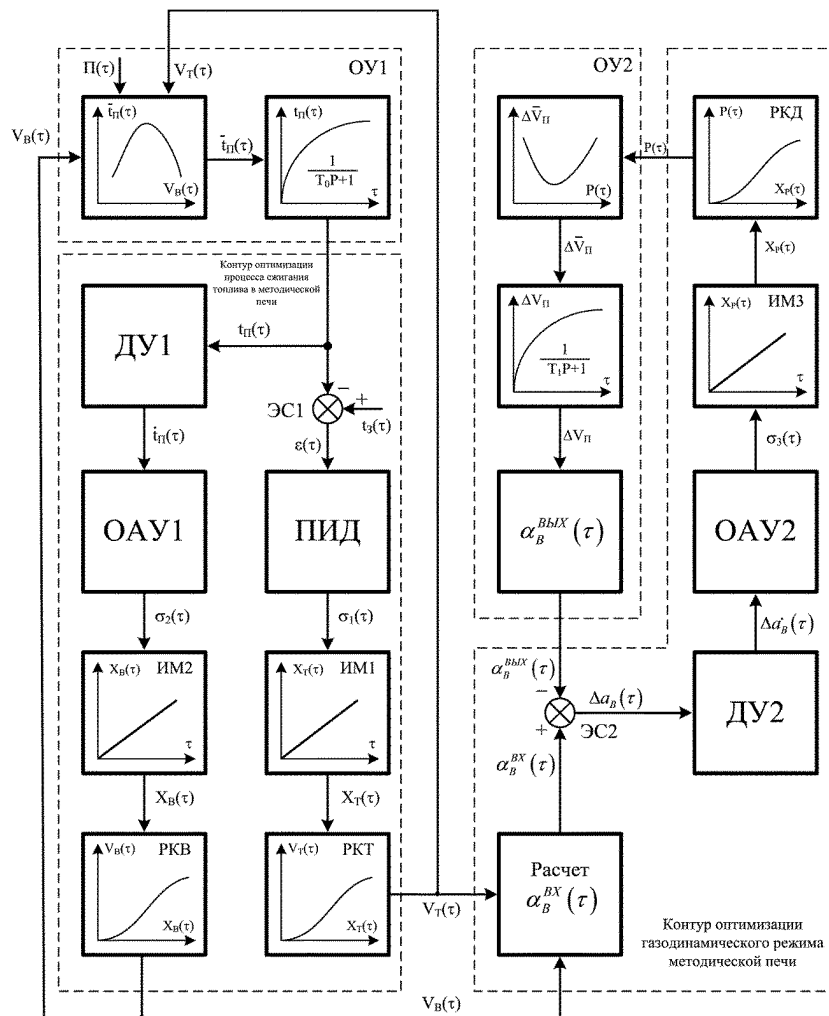


Рис. 1. Структурная схема математической модели автоматизированной системы оптимизации управления тепловым режимом в рабочем пространстве нагревательной печи

Текущее положение $X_G(\tau)$ определяется в соответствии с выражением ПИД-закона регулирования

$$X_G(\tau) = X_0 + K_G \left(\varepsilon(\tau) + \frac{1}{T_i} \int_0^\tau \varepsilon(\tau) dt + T_p \frac{d\varepsilon(\tau)}{d\tau} \right), \quad (3)$$

где K_G , T_i , T_p – параметры динамической настройки регулятора: соответственно коэффициент передачи, % хода/°C; время изодрома, с; время предварения.

Значения K_G , T_i , T_p соответствуют динамическим параметрам объекта управления: K_O – коэффициент передачи объекта, °C/% хода; T_0 – постоянная времени, характеризующая инерционность управляемого процесса, с; τ_d – время запаздывания, с.

Связь динамических параметров настройки ПИД-регулятора с динамическими параметрами объекта управления ОУ1 определяется выражением [9]

$$K_G = \frac{T_0}{2 \cdot K_O \cdot \tau_d}; \quad T_i = T_0; \quad T_p = (0,1 \div 0,5) T_i. \quad (4)$$

Современная реализация ПИД-регуляторов с использованием микропроцессорных регулирующих контроллеров (МРК) позволяет использовать широтно-импульсный режим управления исполнительными механизмами (ИМ) постоянной скорости с использованием программно реализованных алгоритмов.

При широтно-импульсном режиме управления (ИМ) варьируется скважность импульсов (т.е. продолжительность управляющих импульсов и пауз между ними), что позволяет обеспечить любую меньшую по отношению к технической характеристике ИМ скорость. Величина средней скорости перемещения выходного вала ИМ при этом становится важным динамическим параметром настройки стабилизирующего контура управления в реальных условиях при цифровом управлении. Очевидно, что для управления инерционным с запаздыванием объектом управления бессмысленно использовать быстроходные исполнительные механизмы.

При настройке контура требуется соблюдать ограничения на минимальную длительность управляющего импульса. Вследствие значительной инерционности используемых в ИМ асинхронных двигателей с массивным ротором нецелесообразно при импульсном регулировании скорости ИМ устанавливать длительность управляющего импульса менее 0,12-0,15 с. При более коротком импульсе ротор просто не сможет двигаться.

Угол поворота вала ИМ1 – $X_G(\tau)$ преобразуется с учетом нелинейной расходной характеристики РКТ (поворотной заслонки) в текущий расход топлива $V_G(\tau)$.

Информационный сигнал $V_G(\tau)$, который в реальных условиях контролируется с использованием измерительных технических средств, одновременно подается в ОУ1 для определения текущего положения статической характеристики процесса сжигания топлива $\bar{t}_F(\tau) = f[V_G(\tau), V_A(\tau)]$, в блок расчета текущего значения величины коэффициента расхода воздуха на

входе печи $\alpha_B^{IN}(\tau)$ и для формирования текущего положения статической характеристики $|\Delta \bar{V}_S| = \phi[P(\tau)]$ в ОУ2. Здесь $P(\tau)$ – текущее значение величины разрежения в дымоотводящем канале печи; $|\Delta \bar{V}_S|$ – абсолютное значение величины подсосов или выбиваний в контуре оптимизации управления газодинамическим режимом ОУ2.

Оптимизирующий алгоритм управления (ОАУ1) определяет и поддерживает оптимальное текущее значение расхода воздуха в зону $V_A^{OPT}(\tau)$, при котором сжигание текущего расхода топлива $V_G(\tau)$ осуществляется с максимально возможным тепловым эффектом, т.е. с максимально возможной скоростью нагрева рабочего пространства печи или максимальной скоростью нагрева поверхности металла [7, 10-12].

Оптимизируемым (входным) параметром ОАУ1 контура управления процессом сжигания топлива является скорость изменения текущего значения контролируемого температурного параметра $dt_F(\tau) / d\tau = \dot{t}_F(\tau)$.

Оптимизирующий алгоритм управления ОАУ1 управляет движением исполнительного механизма ИМ2, перемещающего регулирующий клапан расхода воздуха РКВ в соответствии с выражением:

$$X_A(\tau) = X_{A0} + \sigma_2(\tau) \cdot K_{M2} \cdot \tau, \quad (5)$$

где $X_A(\tau)$ – текущее положение выходного вала ИМ2, % хода; $K_{M2} = \text{const}$ – величина постоянной скорости ИМ2; $X_{A0} = X_A(\tau=0)$ – начальное положение выходного вала ИМ2.

Текущее положение выходного вала ИМ2 $X_A(\tau)$ преобразуется в текущий расход воздуха $V_A(\tau)$ в соответствии с нелинейной расходной характеристикой РКВ регулирующего клапана расхода воздуха.

Для уменьшения негативного влияния инерционности процесса сжигания топлива по каналу «расход воздуха – температурный параметр» целесообразно в ОАУ1 использовать метод поиска оптимального значения расхода воздуха $V_A^{OPT}(\tau)$ по запоминанию максимума скорости изменения контролируемого температурного параметра оптимизируемого процесса, достигнутое в прошедший период времени [7, 13].

В соответствии с таким методом поиска экстремума ОАУ1 программно формирует значение переключающей функции $\sigma_2(\tau) \in (+1, -1)$ в соответствии с условием

$$\begin{aligned} &\text{если } \dot{t}_F(\tau) - \dot{t}_{F_{\max}}(\tau-1) + \Delta \dot{t}_{F_d} \geq 0, \\ &\text{то } \sigma_2(\tau+1) = \sigma_2(\tau); \\ &\text{если } \dot{t}_F(\tau) - \dot{t}_{F_{\max}}(\tau-1) + \Delta \dot{t}_{F_d} < 0, \\ &\text{то } \sigma_2(\tau+1) = -\sigma_2(\tau), \end{aligned} \quad (6)$$

где $(\tau-1)$, (τ) , $(\tau+1)$ – прошедший, текущий и последующий моменты времени; $\dot{t}_{F_d}(\tau)$ – текущее значение

скорости изменения $t_F(\tau)$; $\dot{t}_{F_{\max}}(\tau-1)$ – максимальное значение скорости изменения $t_F(\tau)$, достигнутое в прошедший период времени; $\Delta \dot{t}_{\text{ПН}}$ – принятая зона нечувствительности ОАУ1.

Условие (6) означает, что выбранное поисковое направление изменения расхода воздуха $V_B(\tau)$ должно быть изменено на противоположное (произведен реверс ИМ2), когда текущее значение скорости изменения $t_F(\tau)$, равное $\dot{t}_F(\tau)$, уменьшится по сравнению с максимально достигнутым значением в прошедший момент времени $\dot{t}_{F_{\max}}(\tau-1)$ на величину большую, чем принятая зона нечувствительности ОАУ1.

Текущее значение $V_A(\tau)$ в реальных условиях контролируется с помощью датчиков расхода и используется в ОАУ1 для определения статической характеристики $\bar{t}_F(\tau) = f[V_G(\tau), V_A(\tau)]$ и для расчета $\alpha_B^{\text{IN}}(\tau)$ в контуре оптимизации управления газодинамическим режимом в рабочем пространстве нагревательной печи.

При наличии резерва мощности дымоотводящей системы нагревательной печи во всем диапазоне изменения расходов $V_G(\tau)$ и $V_A(\tau)$ управляющим воздействием контура оптимизации управления газодинамическим режимом является текущее значение величины разрежения в дымоотводящем канале печи $P(\tau)$, определяемое положением исполнительного механизма $X_P(\tau)$, перемещающего дымовой регулирующий клапан РКД.

Контролируемым выходным оптимизируемым параметром контура оптимизации газодинамического режима является текущее значение разности коэффициентов расхода воздуха на входе и выходе рабочего пространства

$$\Delta\alpha_B(\tau) = \alpha_B^{\text{IN}}(\tau) - \alpha_B^{\text{OUT}}(\tau). \quad (7)$$

Величина $\Delta\alpha_B(\tau)$ определяет величину подсосов холодного воздуха при $\Delta\alpha_B(\tau) < 0$ или величину выбивания горячих газов из рабочего пространства при $\Delta\alpha_B(\tau) > 0$. Текущее значение $\alpha_B^{\text{IN}}(\tau)$ определяется в соответствии с выражением

$$\alpha_B^{\text{IN}}(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^n V_{Ai}(\tau)}{\sum_{i=1}^n V_{Gi}(\tau) \cdot L_0}, \quad (8)$$

где $V_{Ai}(\tau)$ – расход воздуха в i -ю отапливаемую зону; $V_{Gi}(\tau)$ – текущий расход топлива в i -ю отапливаемую зону, м³/ч; L_0 – коэффициент, определяющий теоретическое значение количества воздуха, необходимое для полного сжигания единицы изменения расхода топлива. Для природного газа $L_0=10$; для коксового газа $L_0=5$; для доменного газа $L_0=1$, а для 1 кг мазута $L_0=11-12$.

Значение $\alpha_B^{\text{OUT}}(\tau)$ определяется по упрощенной формуле [14]

$$\alpha_B^{\text{OUT}}(\tau) = \frac{21}{(21 - [O_2(\tau)])}, \quad (9)$$

где $O_2(\tau)$ – текущее содержание кислорода в продуктах горения на выходе из рабочего пространства нагревательной печи.

Текущее значение $\Delta\alpha_B(\tau)$ формируется на выходе элемента сравнения ЭС2 и используется в блоке ОУ2 для формирования статической характеристики газодинамического режима $|\Delta V_S| = \varphi_1[P(\tau)]$ (см.

рис. 1). Здесь $|\Delta V_S|$ – расчетная величина абсолютно значения объемов подсосов и выбиваний.

Предложенный способ определения зависимости $|\Delta \bar{V}_S| = \varphi_1[P(\tau)]$ основан на следующих допущениях.

1. Если нагревательная печь отапливается высококалорийным топливом, то при $\Delta\alpha_B(\tau) > 0$ с выбиваниями теряется в основном горячий воздух, объем которого в 5-12 раз больше объема топлива.

2. Определение приближенного текущего значения $|\Delta \bar{V}_S(\tau)|$ осуществляется с учетом текущего расхода продуктов сгорания в дымоотводящем канале печи в соответствии с выражением

$$|\Delta \bar{V}_S(\tau)| = K_0 \cdot V_G(\tau) \cdot \Delta\alpha_B(\tau), \quad (10)$$

где K_0 – коэффициент, численно равный объему продуктов сгорания, образующемуся при полном сгорании 1 м³ используемого вида топлива.

Инерционные свойства ОУ2 по каналу «разность коэффициентов расхода воздуха – величина разрежения в дымовом канале» аппроксимируются инерционным звеном первого порядка с постоянной времени T_1 .

Оптимизирующий алгоритм управления ОАУ2 определяет и поддерживает оптимальное значение $P(\tau)_{\text{ОПТ}}$ (при наличии резерва по тяге), при котором величина $|\Delta\alpha_B(\tau)|$ или $|\Delta \bar{V}_S(\tau)|$ достигает минимально возможного значения за счет целенаправленного перемещения дымового клапана $X_P(\tau)$ в соответствии с выражением

$$X_P(\tau) = X_{P0} + \sigma_3(\tau) \cdot K_{M3} \cdot \tau, \quad (11)$$

где X_{P0} – начальное значение положения дымового клапана при $\tau=0$; $\sigma_3(\tau) \in (-1, +1)$ – логическая переключающая функция, определяющая текущее направление перемещения ИМ3 или величины $X_P(\tau)$; $K_{M3} = \text{const}$ – постоянная скорость ИМ3, перемещающего дымовой клапан. Перемещение дымового клапана $X_P(\tau)$ преобразуется в величину $P(\tau)$ в соответствии со статической характеристикой регулирующего клапана РКД.

При синтезе ОАУ2 для повышения оперативности работы целесообразно использовать метод поиска по

запоминанию экстремума (отрицательной скорости) изменения величины $\Delta\alpha_B(\tau)$.

ОАУ2 формирует на выходе текущее значение переключающей функции $\sigma_3(\tau)$ в соответствии с логическими условиями поиска минимального значения $\Delta\alpha_B(\tau)$ [7, 15].

$$\begin{aligned} &\text{если } \Delta\dot{\alpha}_B(\tau) - \Delta\dot{\alpha}_B(\tau-1)_{\max} - \Delta\dot{\alpha}_{\text{Bd}} \leq 0, \\ &\text{то } \sigma_3(\tau+1) = \sigma_3(\tau); \\ &\text{если } \Delta\dot{\alpha}_B(\tau) - \Delta\dot{\alpha}_B(\tau-1)_{\max} - \Delta\dot{\alpha}_{\text{Bd}} > 0, \\ &\text{то } \sigma_3(\tau+1) = -\sigma_3(\tau), \end{aligned} \quad (12)$$

где $\Delta\dot{\alpha}_B(\tau)$ – текущее значение скорости изменения расчетной величины $\Delta\alpha_B(\tau)$ (максимально возможной скорости уменьшения); $\Delta\dot{\alpha}_{\text{Bd}}$ – принятая зона нечувствительности ОАУ2; $(\tau+1)$, τ , $(\tau-1)$ – соответственно последующий, текущий и прошедший момент времени или циклы работы МРК.

Это означает, что выбранный в текущий момент времени τ направление изменения $X_P(\tau)$ изменится на противоположное в последующий момент времени $(\tau+1)$, если текущее значение $\Delta\alpha_B(\tau)$ увеличится по сравнению с минимально достигнутым (отрицательным) значением $\Delta\dot{\alpha}_B(\tau)_{\min}$ на величину большую, чем зона нечувствительности $\Delta\dot{\alpha}_{\text{Bd}}(\tau)$.

Текущее значение $P(\tau)$ в реальных условиях контролируется и используется в блоке ОУ2 для определения текущего значения $\Delta\dot{\alpha}_B(\tau)$ при известной статической характеристике $|\Delta V_S| = \varphi_1[P(\tau)]$.

Экстремумы статических характеристик двух оптимизируемых процессов под действием технологических возмущений смещаются (дрейфуют) по сложным траекториям, имеющим как горизонтальную, так и вертикальную составляющие скоростей дрейфа.

Результаты моделирования и выводы

В реальных производственных условиях очень редко встречаются нагревательные печи, имеющие запас по тяге при максимальных тепловых нагрузках.

Поэтому представляет практический интерес изучение взаимовлияния двух основных контуров оптимизации управления тепловым режимом в зонах нагрева:

- контура стабилизации заданного значения оптимального контролируемого температурного параметра;
- контура оптимизации управления процессом сжигания топлива.

Для проверки работоспособности программного обеспечения и оценки эффективности рассматриваемого способа оптимизирующего управления тепловым режимом рассмотрим результаты математического моделирования совместной работы двух названных контуров применительно к условиям методической печи стана 300 ОАО «ММК».

Печь отапливается коксовым газом, который подается через 12 горелок, установленных в торцевой части рабочего пространства. Для интенсификации перемешивания газа и воздуха в горелки подается небольшое количество сжатого воздуха.

Моделирование осуществлялось для условий вывода нагревательной печи из режима технологического простоя в рабочий режим при отсутствии выдачи металла. Моделирование проведено при следующих параметрах: начальное значение температуры $t_F(0)=980^\circ\text{C}$; заданное значение температуры $t_Z=1200^\circ\text{C}$; $V_G(0)=1000 \text{ м}^3/\text{ч}$; $L_0=5$; $T_0=15 \text{ с}$; $T_1=100 \text{ с}$; $K_{M1}=100 \text{ (м}^3/\text{ч)/с}$; $K_{M2}=500 \text{ (м}^3/\text{ч)/с}$ или $1\% \text{ хода/с}$; при работе оптимизирующего контура $K_{M2}=100 \text{ (м}^3/\text{ч)/с}$; $K_G=0,018\% \text{ хода/}^\circ\text{C}$; $T_1=120 \text{ с}$; $\Delta t_{\text{Fid}}=2^\circ\text{C}$.

Расчетные траектории изменения $t_F(\tau)$, $V_G(\tau)$, $V_A(\tau)$ и $\dot{t}_F(\tau)$ во времени при одновременном функционировании двух контуров управления и использовании ОАУ1 по запоминанию максимума скорости изменения $\dot{t}_F(\tau)$ представлены на рис. 2.

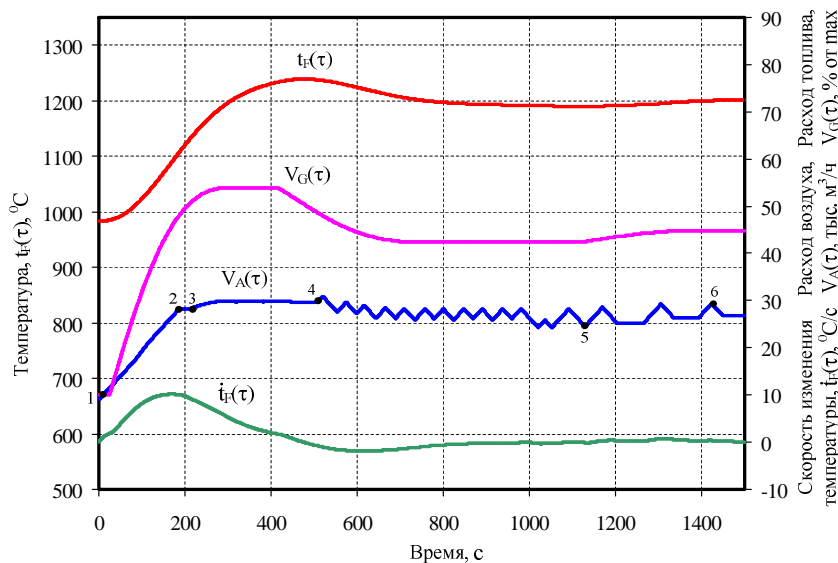


Рис. 2. Расчетные траектории изменения $t_F(\tau)$, $\dot{t}_F(\tau)$, $V_G(\tau)$, $V_A(\tau)$ во времени при выводе нагревательной печи стана 300 ОАО «ММК» из режима технологического простоя в рабочий режим

Полученные результаты согласуются с реальными данными. Это является объективным доказательством правильности рассматриваемой модели оптимального управления тепловым режимом рабочего пространства нагревательной печи. Рассмотренная модель может служить типовым элементом программного обеспечения АСУТП нагревом металла, обеспечивающей энергосберегающий режим в нестационарных услови-

ях работы нагревательных печей при переменной производительности.

Даже частичная реализация энергосберегающего оптимального управления тепловым режимом нагревательной печи за счет ограничения тепловых нагрузок в первой сварочной зоне печей стана 2500 ОАО «ММК» обеспечило реальное снижение удельного расхода условного топлива на 2-3%.

Список литературы

1. Генкин А. Л. Энергосберегающее управление современным листопркатным производством // Производство проката. 2008. №7. С. 38-43.
2. Parsunkin B.N., Andreev S.M. Requirements in energy-saving metal heating // Steel in Translation. 2002. Т. 32. №2. Р. 37-41.
3. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Бушманова М.В. Оптимизация управления тепловым режимом нагревательных печей // Сталь. 2003. №9. С. 65-67.
4. Андреев С.М., Парсункин Б.Н., Нужин Д.В. Автоматизированная система управления топливосберегающим несимметричным нагревом металла перед прокаткой в современных методических печах // Автоматизация и современные технологии. 2010. №1. С. 14-20.
5. Андреев С.М., Парсункин Б.Н. Система оптимального управления тепловым режимом промышленных печей // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2013. №2. С. 18-29.
6. Румянцев М.И., Шубин И.Г., Носенко О.Ю. Конструирование модели для расчета температуры низколегированных сталей при прокате на ШСГП // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. №1. С. 54-57.

7. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Ахметов У.Б. Оптимизация управления технологическими процессами в металлургии: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2006. 198 с.
8. Совершенствование управления режимом нагрева металла в методической печи за счет использования модели процесса / Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, М.Ю. Рябчиков и др. // Автоматизация технологических и производственных процессов в металлургии. 2009. №3. С. 131-149.
9. Локальные стабилизирующие контуры автоматического управления в АСУ ТП промышленного производства: монография / Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, О.С. Логунова, Т.У. Ахметов. Магнитогорск: Изд-во «Полиграфия», 2012. 406 с.
10. Parsunkin B.N., Andreev S.M., Akhmetov T.U., Mukhina E.Y. Optimal energy-efficient combustion process control in heating furnaces of rolling mills // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State University. 2013, no. 5, pp. 58-62.
11. Сайров А.М. Оптимизация управления тепловым режимом в рабочем пространстве нагревательной печи // Автоматизированные технологии и производства. 2013. №5. С. 296-301.
12. Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Обухова Т.Г. Исследование оптимального энергосберегающего процесса сжигания топлива в рабочем пространстве металлургических печей // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2005. №4. С. 28-36.
13. Казакевич В.В., Родов А.Б. Системы автоматической оптимизации. М.: Энергия, 1977. 288 с.
14. Линчевский В.П. Топливо и его сжигание. М.: Metallurgizdat, 1959. 400 с.
15. Парсункин Б.Н., Бушманова М.В., Андреев С.М. Расчеты систем автоматической оптимизации управления технологическими процессами в металлургии. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2003. 267 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF BILLET HEATING ENERGY SAVING CONTROL SYSTEM IN SHEET MILL REHEATING FURNACES

Parsunkin Boris Nikolaevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Academician of A.M. Prohorov Engineering Academy, Russia. Phone: 8(3519)298432. E-mail: pksu035@gmail.com.

Andreev Sergey Mihailovich – Ph.D. (Eng), Associate Professor, Head of Automated Control Systems department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519)298527. E-mail: andreev.asc@gmail.com.

Akhmetov Timur Uralovich – Service Engineer Limited Liability Company Scientific and Production Association «Automatizatsiya», Magnitogorsk, Russia. Phone: 8(3519)298558. E-mail: pksu035@gmail.com.

Abstract. Reheating furnaces for hot rolling sheet mills are multi-zone heaters of a transmission type in which several simultaneous high temperature interrelated processes take place. The necessity of the account of the processes mutual influence on each other introduces the additional requirements for the control loops embodiment by separate process variables. It is of current interest especially in using optimizing control loops since this effect is evident in the shift of the statistical characteristics of the optimizing processes due to the actions brought in the process of perturbations from the other control loops.

The aim of the study is to develop and investigate the behavior of the optimization control system for the heating furnace main process variables granting the significant perturbations in the stabilizing circuits when changing the heating furnace operation modes.

As a result of carried out investigation the optimizing control system structure actualizing the heating furnace power saving mode has been developed. The results of the developed system simulation showed the effective implementation of heating furnace energy saving modes under the significant perturbations in the stabilizing control loops.

Keywords: reheating furnace, slab billet heating, energy saving heating modes, optimal control system, transients in control loops, automated system

References

1. Genkin A. L. Energoberegayushchee upravlenie sovremennym listoprokatnym proizvodstvom [Energy-saving control of modern sheet and plate production]. *Proizvodstvo prokata*. [Rolled Products Manufacturing], 2008, no.7, pp. 38-43.
2. Parsunkin B.N., Andreev S.M. Requirements in energy-saving metal heating. *Steel in Translation*. 2002, vol. 32, no. 2, pp. 37-41.

3. Parsunkin B.N., Andreev S.M., Bushmanova M.V. *Optimizatsiya upravleniya teploym rezhimom nagrevatelnykh pechey* [Optimization of thermal control of heating furnaces]. *Stal'*. [Steel], 2003, no.9, pp.65-67.
4. Andreev S.M., Parsunkin B.N., Nuzhin D.V. *Avtomatizirovannaya sistema upravleniya toplivosberegayushchim nesimmetrichnym nagrevom metalla pered prokatkoy v sovremennykh metodicheskikh pechakh* [Automatic control system of the fuel preserve asymmetrical metal heating before rolling in the contemporary methodological ovens]. *Avtomatizatsiya i sovremennye tekhnologii* [Automation and modern technology], 2010, no.1, pp.14-20.
5. Andreev S.M., Parsunkin B.N. Optimal Control System of Industrial Furnace Thermal Rate. *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2013, no. 1, pp. 22-27.
6. Rummyantsev M.I., Shubin I.G., Nosenko O.Yu. *Konstruirovaniye modeli dlya rascheta temperatury nizkolegirovannykh staley pri prokate na ShSGP* [Designing models for calculating temperature alloy steels at the box office on the hot strip mill]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Nosov of Vestnik Magnitogorsk State Technical University]. 2007, no. 1, pp. 54-57.
7. Parsunkin B.N., Andreev S.M., Akhmetov U.B. *Optimizatsiya upravleniya tekhnologicheskimi protsessami v metallurgii: monografiya* [Optimization of process control in metallurgy: a monograph]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2006, 198 p.
8. Parsunkin B.N., Andreev S.M., Ryabchikov M.Yu. *Sovershenstvovanie upravleniya rezhimom nagreva metalla v metodicheskoy pechi za schet ispol'zovaniya modeli protsessa* [Perfecting of control by a condition of heat of metal in a continuous furnace at the expense of use of a sample piece of process]. *Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh i proizvodstvennykh protsessov v metallurgii* [Automation of technological and production processes in metallurgy]. 2009, no. 3, pp. 131-149.
9. Parsunkin B.N., Andreev S.M., Logunova O.S. Akhmetov T.U. *Lokal'nyye*

- stabiliziruyushchie kontury avtomaticheskogo upravleniya v ASU TP promyshlennogo proizvodstva: monografiya* [Stabilizing local automatic control loops in industrial production: a monograph]. Magnitogorsk: Poligraphiya, 2012, 406 p.
10. Parsunkin B.N., Andreev S.M., Akhmetov T.U., Mukhina E.Y. Optimal energy-efficient combustion process control in heating furnaces of rolling mills. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2013, no. 5, pp. 58-62.
 11. Sayrov A.M. Optimizatsiya upravleniya teplovym rezhimom v rabochem prostranstve nagrevatel'noy pechi [Optimization of thermal control in the working space of the heating furnace]. *Avtomatizirovannye tekhnologii i proizvodstva* [Automation of technologies and production], 2013, no. 5, pp. 296-301.
 12. Parsunkin B.N., Andreev S.M., Obukhova T.G. Issledovaniye optimalnogo energosberegayushchego protsessa szhiganiya topliva v rabochem prostranstve metallurgicheskikh pechey [Research optimum energy-saving combustion process in the workspace metallurgical furnaces] *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2005, no. 4, pp. 28-36.
 13. Kazakevich V.V., Rodov A.B. *Sistemy avtomaticheskoy optimizatsii* [Systems of automatic optimization]. Moscow: Energiya, 1977, 288 p.
 14. Linchevskiy V.P. *Toplivo i ego szhiganiye* [Fuel and fuel combustion]. Moscow: Metallurgizdat, 1959, 400 p.
 15. Parsunkin B.N., Bushmanova M.V., Andreev S.M. *Raschety sistem avtomaticheskoy optimizatsii upravleniya tekhnologicheskimi protsessami v metallurgii* [Calculations the systems of automatic optimization of technological processes in metallurgy]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2003, 267 p.

От редакции

Научная школа института энергетики и автоматизированных систем МГТУ в рамках специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы» основана заслуженным деятелем науки РФ, академиком Российской Академии инженерных наук, д-ром техн. наук, проф. Игорем Андреевичем Селивановым. Основными направлениями исследований являются совершенствование автоматизированных электроприводов агрегатов металлургического производства, энергосбережение и разработка систем диагностирования технического состояния силового электротехнического и энергетического оборудования. Его учениками – известными учеными, которые продолжают эффективные научные исследования в этих направлениях, являются профессоры Лукьянов С.И., Карандаев А.С., Корнилов Г.П., Сарваров А.С., Мугалимов Р.Г., Радионов А.А., Омельченко Е.Я., доценты Евдокимов С.А., Петушков М.Ю., Храмшин В.Р., Храмшин Т.Р., Николаев А.А., Малафеев А.В. и др. Магнитогорская школа «электроприводчиков» широко известна в России. Тесные научные и практические связи поддерживаются с промышленными предприятиями и фирмами: ОАО «ММК», ОАО «ММК-МЕТИЗ», ОАО «БМК» группы «МЕЧЕЛ», ООО «Руэлпром», ООО «Димрус», ЗАО «ММК-Metalurji» (Турция), с учеными НИУ «МЭИ», ЮУрГУ, УрФУ. Более 10 лет активно работает диссертационный совет по указанной научной специальности, в котором успешно защищаются докторские и кандидатские диссертации сотрудников МГТУ, ММК, коллег из других вузов и с промышленных предприятий. Направления исследований расширяются, а коллектив научной школы пополняется талантливой, перспективной молодежью.

УДК 621.311+621.34.001

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ*

Лукьянов С.И., Карандаев А.С., Евдокимов С.А., Сарваров А.С., Петушков М.Ю., Храмшин В.Р.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

Аннотация. Отмечено, что одним из главных направлений исследований научных групп института энергетики и автоматики Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова (МГТУ) является разработка систем непрерывного контроля и диагностирования технического состояния электрооборудования агрегатов металлургического производства. Рассмотрены принцип диагностирования технологических дефектов слывовых машин непрерывного литья заготовки (МНЛЗ), основанный на анализе характеристик теплообменных процессов между рабочей поверхностью стенок кристаллизатора и слитком, и метод диагностирования оборудования по изменению токов нагрузки электродвигателей. Приведена функциональная схема системы непрерывного контроля технического состояния трансформаторов сверхмощных дуговых сталеплавильных печей, внедренной в электросталеплавильном цехе (ЭСЦ) ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК»). Рассмотрен аппаратный состав системы мониторинга технического состояния асинхронных двигателей групповых электроприводов секций рольгангов стана 5000. Представлен метод диагностирования технического состояния асинхронных двигателей по обобщенному вектору тока в пусковых режимах. Выполнен сравнительный анализ спектрограмм экспериментально измеренных токов, обосновано применение непрерывного вейвлет-преобразования обобщенного вектора тока.

Ключевые слова: металлургическое предприятие, машина непрерывного литья заготовок, электростанция, электродуговая печь, силовой трансформатор, толстолистовой стан горячей прокатки, рольганг, регулируемый электропривод, асинхронный двигатель, техническое состояние, мониторинг, системы, методики, внедрение

Введение

Разработка систем непрерывного контроля технического состояния электрооборудования является одним из основных направлений научной школы «Создание энергосберегающих систем транспортировки, распределения и потребления тепловой и электрической энергии на промышленных предприятиях». Это объясняется тем, что проблемы энерго-, ресурсосбережения и диагностирования технического состояния оборудования энергоемких объектов металлургических предприятий неразрывно связаны. Аварийные остановки энергоагрегатов собственных электростан-

ций и агрегатов, обеспечивающих непрерывный технологический процесс, зачастую ведут к многомиллионным убыткам, а в ряде случаев – к необратимым последствиям. В этой связи на передний план выходят задачи непрерывного контроля и диагностирования состояния трансформаторов дуговых сталеплавильных печей, повышающих (блочных) трансформаторов собственных электростанций и понижающих (сетевых) трансформаторов подстанций.

Не менее важной задачей является контроль технического состояния электрооборудования объектов горнорудного производства, механизмов МНЛЗ и прокатных станов. К нему, прежде всего, относятся главные электроприводы клетей, регулируемые и нерегулируемые электроприводы рольгангов, намоточно-размоточных устройств станов горячей и холодной

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (гос. задание №2014/80).

прокатки, тянуще-правильных устройств МНЛЗ, насосов, мощных вентиляторов, мельниц, дробилок и т.д. Ниже приводится информация о результатах научных исследований, выполненных научными группами в названном направлении.

Диагностирование технологических дефектов слябовых машин непрерывного литья заготовки (научный руководитель – д-р техн. наук, профессор Лукьянов С.И.).

Научный коллектив кафедры электроники и микроэлектроники МГТУ за последнее десятилетие разработал и внедрил более десяти систем диагностирования оборудования металлургических агрегатов и мониторинга технологических процессов в сталеплавильном и прокатном производствах [1-3]. Ниже кратко представлены результаты разработки и внедрения систем диагностирования технологических дефектов на слябовых машинах непрерывного литья заготовки.

Прорыв корки слитка по причине приваривания (зависания) её участка к стенкам кристаллизатора является одной из распространенных и тяжелых аварий. С целью раннего детектирования зависания корочки слитка в кристаллизаторе на современных МНЛЗ применяют интеллектуальные информационные системы, основанные на непрерывном анализе технологических параметров непрерывной разливки. Широкое распространение получили *системы, основанные на анализе характеристик теплообменных процессов* между рабочей поверхностью стенок кристаллизатора и слитком, измеренных при помощи термопар, встроенных в кристаллизатор [4].

Встройка термопар (96-108 ед.) в кристаллизатор (рис. 1, а) выполняется равномерно, в три слоя по периметру кристаллизатора. С целью получения достоверной и качественной картины процесса теплообмена между слитком и медными стенками кристаллизатора разработана математическая модель распределения температур участков стенок кристаллизатора, основанная на первичной триангуляции двумерного пространства координатной сетки с последующим построением интерполированных значений температуры по всему полю кристаллизатора [5].

На рис. 1, б приведены временные диаграммы изменения значений температур T_j , поступающих в систему предупреждения прорыва корочки слитка от термопар при зависании корочки слитка в районе 40-й термопары (рис. 1, а). Согласно рис. 1, б зависание корочки слитка (момент времени t_1) в районе установки термопары №40 приводит к росту значений температуры T_{40} , вызванному выплеском жидкой стали на медные стенки в результате локального разрыва корочки слитка. После достижения температурой опре-

делённой экстремальной величины наблюдается её снижение ниже значения, соответствующего нормальному режиму охлаждения металла в кристаллизаторе. Это свидетельствует об увеличении толщины корочки слитка в данной локальной области (зависании корочки слитка). Кроме того, наблюдается аналогичное изменение значений температур на смежных термопарах №41 и 77, отличающееся тем, что повышение температуры участка медной стенки с последующим снижением сдвинуты во времени относительно значений температур исходной термопары №40. Это свидетельствует о распространении приваривания слитка на большую площадь кристаллизатора.

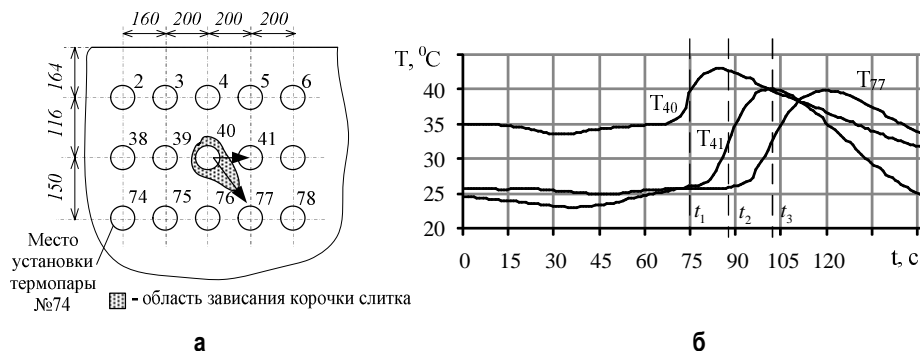


Рис. 1. Зависание корочки слитка в кристаллизаторе: а – фрагмент медной стенки; б – временные диаграммы изменения температур T_j на термопарах №40, 41, 77

Разработанный алгоритм диагностирования прошел промышленную апробацию на МНЛЗ №1-5 ОАО «ММК», в ходе которой в течение года выявлены все случаи зависания корочки слитка в кристаллизаторе при низком количестве ложных диагнозов (1 ложный диагноз в месяц) [4].

Диагностирование оборудования слябовых МНЛЗ по изменению значений токов нагрузки (развиваемого момента) электродвигателей является перспективным направлением в функциональной диагностике металлургических агрегатов.

Указанный метод применен в системах диагностики электроприводов тянущих роликов МНЛЗ №1-5 ОАО «ММК». Характерными технологическими дефектами электроприводов тянущих роликов зоны вторичного охлаждения МНЛЗ являются:

- прогиб и износ бочек роликов;
- периодические буксовки тянущего ролика по слитку;
- случайные буксовки тянущего ролика по слитку;
- повреждения подшипниковых узлов;
- дефекты редукторов линии привода;
- колебания статического момента нагрузки электропривода тянуще-правильного устройства [6].

На основании анализа форм изменения во времени значений токов нагрузки (моментов) электродвигателей определены их характерные формы для каждого характерного дефекта электропривода тянущих роликов. Для каждого типа дефектов определены диагностические признаки в частотной и временной областях изменения токов нагрузок. Для каждого диагно-

стического признака определены доверительные интервалы их наблюдения и по совокупности диагностических признаков установлены интегральные условия диагностирования. Разработаны алгоритмы диагностирования технологических дефектов электроприводов исполнительных механизмов.

Системы диагностирования электроприводов тянущих роликов МНЛЗ №1-4 и МНЛЗ №5 эксплуатируются с 2005 и 2011 гг. соответственно.

В рамках **научного направления, посвященного разработке систем непрерывного контроля технического состояния силовых трансформаторов**, руководителями которого являются д-р техн. наук, профессор Карандаев А.С. и канд. техн. наук, доцент Евдокимов С.А., выполнено пять договорных научно-исследовательских работ с ОАО «ММК». Часть работ направлена на создание и применение методик и технических средств акустического контроля частичных разрядов (ЧР), возникающих в изоляции силового маслонаполненного оборудования.

Проведены исследования причин и условий возникновения неисправностей в силовых трансформаторах энергосистемы ОАО «ММК» за длительный период (около 10 лет). С этой целью был разработан аппаратно-программный комплекс на основе переносного прибора анализа ЧР и локализации зон дефектов в изоляции высоковольтного оборудования AR-700 [7]. Определено, что сетевые и блочные трансформаторы 110 кВ относятся к группе, имеющей самую высокую частоту появления повреждений. Анализ их распределения по основным узлам трансформаторов показал, что наибольшую повреждаемость имеют: высоковольтные вводы – 22%, обмотки – 16%, устройства РПН – 13,5% [8, 9]. Исследования, выполненные на однотипных трансформаторах, подтвердили прямую взаимосвязь частоты возникновения ЧР и длительности эксплуата-

ции трансформатора после капитального ремонта. Накопление информации и обработка сигналов позволили определить количественные характеристики ЧР [10-12]. Выполнена оценка технического состояния по результатам замеров и сопоставления показателей разрядной активности с нормативными. Впервые предложено применение методики и алгоритма обработки результатов периодической акустической локации ЧР на основе метода субтрактивной (горной) кластеризации, обеспечивающих локализацию и идентификацию неисправностей, а также оценку динамики их развития [13].

Наиболее сложную научную проблему представляет собой **создание систем непрерывного контроля технического состояния трансформаторов сверхмощных дуговых сталеплавильных печей (ДСП-180) и агрегатов печь-ковш (АПК)**, находящихся в эксплуатации в ЭСПЦ ОАО «ММК». В настоящее время завершены научно-исследовательские работы, в рамках которых разработаны и внедрены системы мониторинга параметров печных трансформаторов FTOHBR-150200/35 напряжением 35/(0,8-1,4) кВ, мощностью 150 МВА фирмы «ТАМИНИ» (Италия), установленных на ДСП №1 и 2. Научным коллективом МГТУ совместно со специалистами производственно-внедренческой фирмы «Димрус» (г. Пермь) изготовлены и сданы в эксплуатацию на печных трансформаторах ДСП системы диагностического мониторинга TDMS (Transformer Diagnostics Monitor Special), имеющие аналогичные структуру и аппаратное исполнение. Общая структура технических средств системы TDMS представлена на рис. 3, где схематично показаны места установки датчиков, необходимых для оценки общего состояния трансформатора. Конструктивно система состоит из пяти модулей первичных датчиков и непосредственно основного прибора системы мониторинга, установленных в монтажном шкафу.

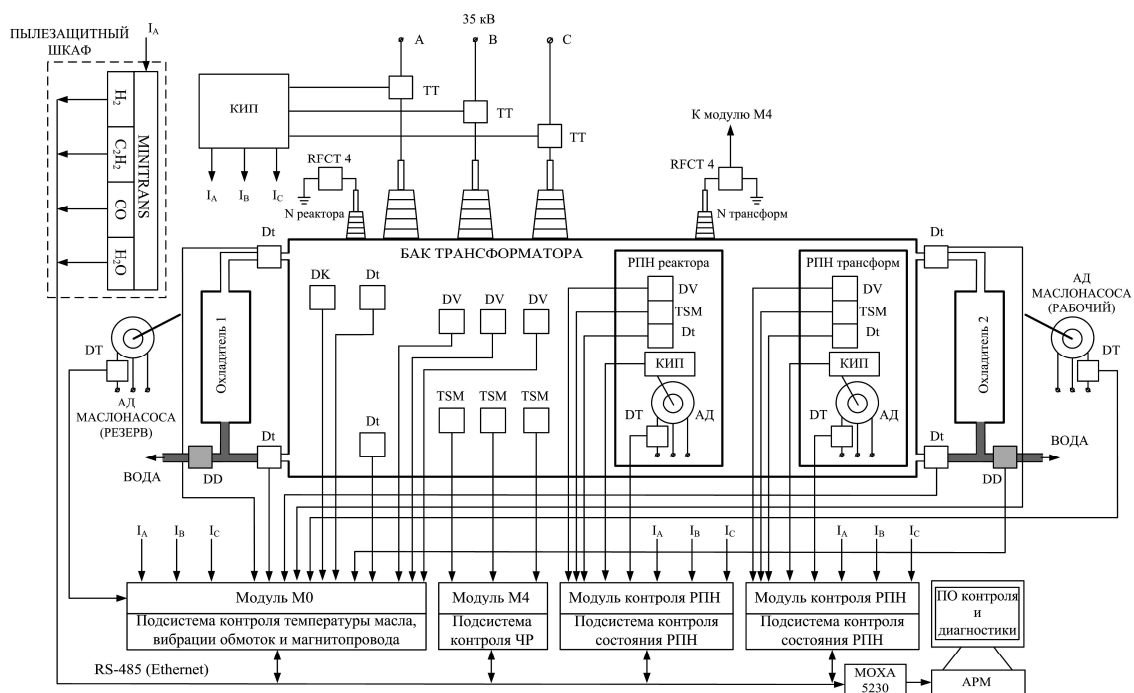


Рис. 3. Структура системы диагностирования состояния трансформатора дуговой сталеплавильной печи

В состав системы входят [14, 15]:

- диагностический комплекс MINTRANS, осуществляющий непрерывный контроль содержания растворенных газов и влажности трансформаторного масла;
- процессорный модуль контроля температурных и вибрационных параметров;
- процессорный модуль контроля частичных разрядов, осуществляющий оперативный контроль состояния изоляции вводов, обмоток и магнитопровода;
- два модуля контроля РПН трансформатора и РПН реактора на основании мониторинга температурных и вибрационных параметров, а также токов их электроприводов;
- удаленный сервер мониторинга и анализа диагностических параметров (установлен в помещении персонала сервисной службы);
- комплект датчиков контролируемых параметров трансформатора и другое специализированное оборудование.

Требования к данной системе рассмотрены в [16], подробное описание представлено в [14]. Там же приведены экранные формы, обеспечивающие наглядное представление временных зависимостей (трендов) контролируемых сигналов и обобщенных результатов диагностирования.

В настоящее время выполняется НИОКР по разработке и внедрению аналогичной системы на трансформаторе АПК №2.

Следующей задачей, решаемой научным коллективом, является *разработка системы мониторинга состояния асинхронных двигателей при питании от преобразователей частоты*. Практически все электроприводы вновь вводимых на комбинате технологических объектов выполняются на базе электроприводов переменного тока с частотным регулированием скорости. Задача диагностирования состояния асинхронного электродвигателя при частотном регулировании, а в ряде случаев – при групповом питании от преобразователя частоты (ПЧ), является принципиально новой и в настоящее время мало изученной.

В 2013 г. завершена научно-исследовательская работа по внедрению системы мониторинга технического состояния асинхронных двигателей секций №3 и 4 отводящего рольганга толстолистового стана 5000 ОАО «ММК» при групповом питании от преобразователей частоты (научные руководители – д-р техн. наук, профессор Карандаев А.С. и канд. техн. наук, доцент Евдокимов С.А.). Аппаратная структура разработанной системы представлена на рис. 4. Все аппаратные средства в составе данной структуры интегрированы на аппаратно-программном уровне в единую систему мониторинга, реализующую непрерывный контроль фазных токов и напряжений на выводах преобразователей частоты электроприводов секций рольгангов с последующим диагностическим анализом, определяющим факторы технического состояния групп электродвигателей.

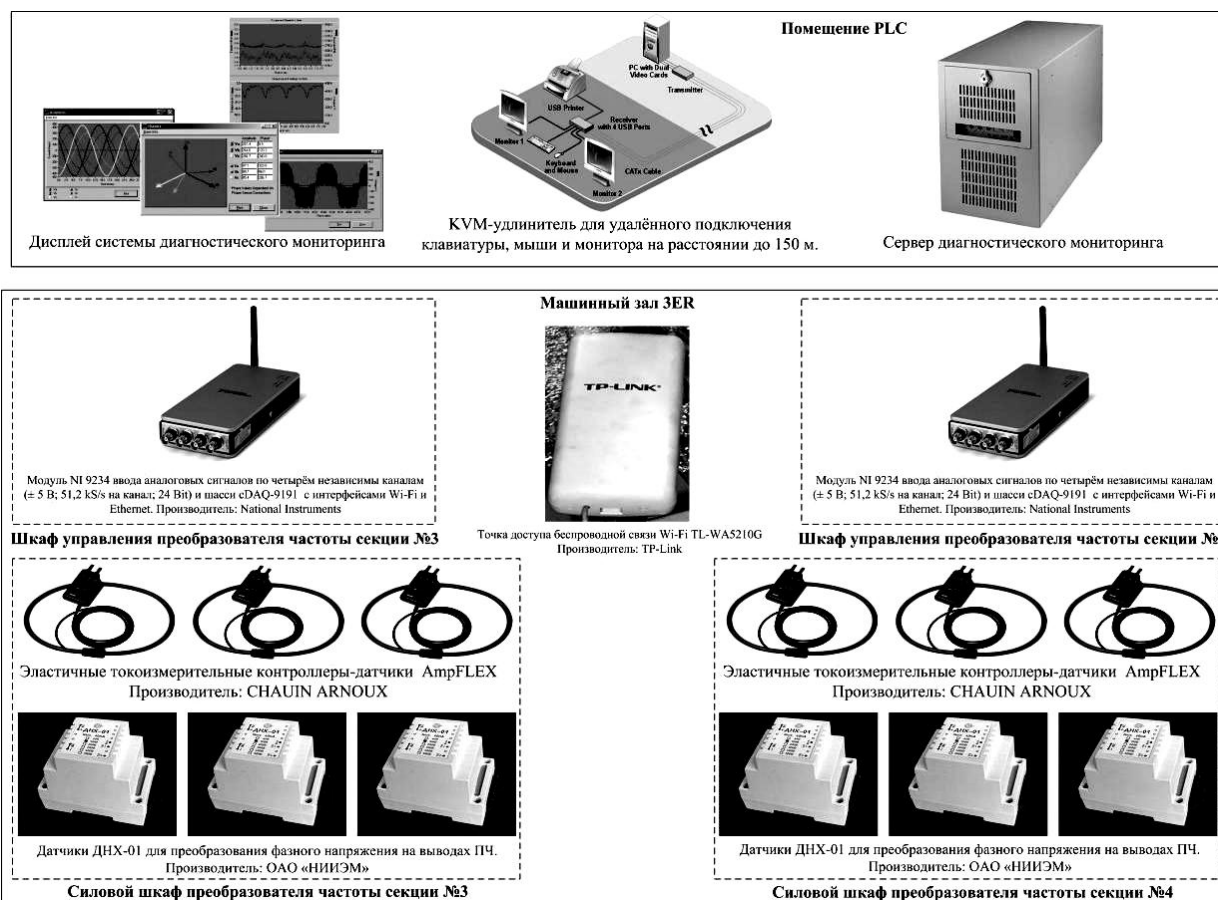


Рис. 4. Аппаратный состав системы мониторинга двигателей секций рольганга стана 5000

В качестве основных диагностических параметров обоснованы следующие функции и коэффициенты:

- взаимная корреляционная функция фазных токов, которая описывает степень сходства формы двух сигналов и их взаимное расположение друг относительно друга по координате (независимой переменной);
- отношение сигнал-шум в токах фаз асинхронного двигателя;
- спектр-токовый анализ.

Система мониторинга обеспечивает: повышение эффективности непрерывного контроля технического состояния электроприводов рольгангов; сокращение времени локализации, идентификации и устранения неисправностей на ранних стадиях развития; проведение анализа технического состояния групп двигателей рольгангов за продолжительный период эксплуатации с целью прогнозирования остаточного ресурса; повышение эффективности планирования и организации ремонтных работ с сокращением затрат на их проведение.

Научной группой под руководством д-р техн. наук, профессора Сарварова А.С. при непосредственном участии канд. техн. наук, доцента Петушкова М.Ю. разработан **новый метод диагностирования асинхронных двигателей**, позволяющий определять их техническое состояние по обобщенному вектору тока в пусковых режимах [17].

В результате длительных экспериментальных исследований показано, что ряд диагностических признаков не удается обнаружить, и тем более идентифицировать, при проведении исследований в установившихся режимах, так как большинство двигателей имеют нагрузку значительно ниже номинальной. Обоснована целесообразность проведения исследований при нагрузках, превышающих номинальные значения, а именно в переходных процессах, так как большинство дефектов на ранней стадии возникновения могут проявиться именно в этих режимах.

В результате предложен новый подход в диагностике асинхронных двигателей, основанный на оценке статорного тока во время пуска. Принцип суперпозиции, который применяется для диагностики неисправного ротора асинхронного двигателя в стационарном режиме, был распространен и для динамических режимов [18]. Показано, что сочетание принципа суперпозиции с применением пошагового метода конечных элементов обеспечивает точную оценку тока статора. Данный подход может быть использован для установления дефекта независимо от условий эксплуатации двигателя, выбранного инструмента обработки сигнала и других факторов. Проверка предлагаемого подхода (рис. 5) показывает, что он хорошо согласуется с экспериментальными результатами, а также с вопросами, ранее освещавшимися в технической литературе.

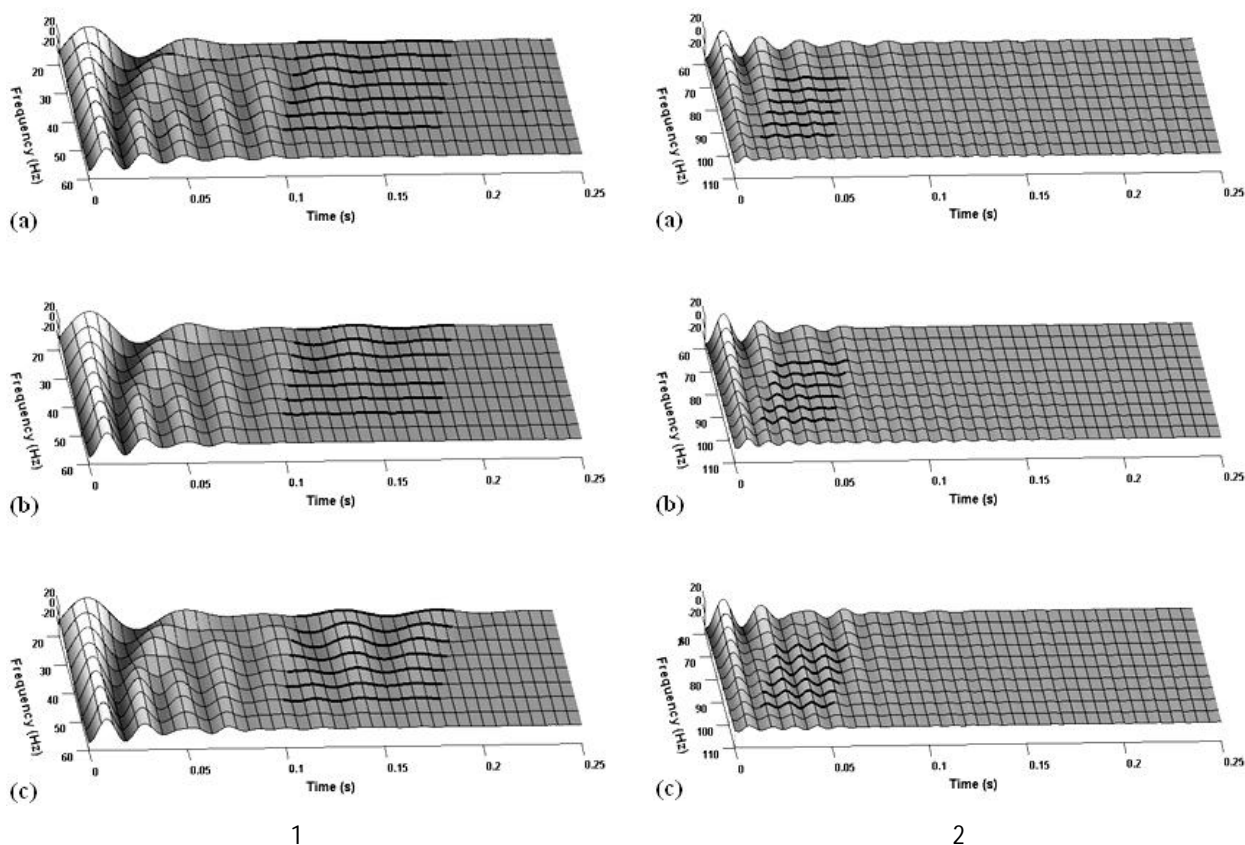


Рис. 5. Спектрограммы экспериментально измеренного значения тока модуля вектора Парка во время пуска исправного двигателя (а), двигателя с 2-мя сломанными стержнями ротора (б) и двигателя с 4-мя сломанными стержнями ротора (с): 1 – диапазон частот 20-60 Гц; 2 – диапазон частот 60-110 Гц

Исследования процессов пуска различных асинхронных двигателей механизмов горно-обогатительного производства ОАО «ММК» позволили собрать обширный статистический ряд обобщенных векторов пуска. С периодичностью раз в квартал, начиная с февраля 2010 г., обследовались более 50 двигателей мощностью от 2,2 кВт (двигатель вытяжной вентиляции поста сварки) до 132 кВт (двигатель вентилятора).

В качестве аппарата обработки сигналов выбрано непрерывное вейвлет-преобразование SWT из пакета MatLab. Континуальный вейвлет-анализ представляет собой достаточно гибкий и в то же время весьма мощный инструмент временного и спектрального анализа, целью которого является построение частотно-временных характеристик сигналов, во многом проясняющих природу сигналов в целом и их составляющих.

В результате сопоставления теоретических и экспериментальных данных подтверждено, что непрерывное вейвлет-преобразование SWT обобщенного вектора тока при пуске позволяет выявить на ранних стадиях и такую неисправность, как старение изоляции, приводящую к межвитковому замыканию.

Заключение

Юбилейным событиям сотрудники института энергетики и автоматики посвящают свои лучшие научные достижения, которых в истекшие годы накопилось немало. Интенсивно развивается относительно новое направление, связанное с проблемами непрерывного контроля и диагностирования технического состояния ответственного оборудования агрегатов, непосредственно обеспечивающих технологический цикл и энергетическую безопасность металлургического предприятия. К таким агрегатам относятся дуговые сталеплавильные печи, машины непрерывного литья заготовок, прокатные станы, энергоблоки электростанций, высоковольтные трансформаторы подстанций. Данное научное направление непосредственно связано с проблемами энергосбережения, сохранения ресурса и повышения срока эксплуатации дорогостоящего оборудования, снижению по реальному техническому состоянию. Об актуальности и востребованности направления свидетельствуют разработанные и внедренные на технологических объектах ОАО «ММК» системы мониторинга и диагностирования состояния, далеко не полная информация о которых представлена в настоящей статье.

Список литературы

1. Лукьянов С.И., Суспицын Е.С., Пишнограев Р.С. Диагностирование электропривода тянуще-правильного устройства МНЛЗ: монография. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2005. 150 с.
2. Лукьянов С.И., Пишнограев Р.С., Суспицын Е.С. Диагностирование электропривода отводящего рольганга широкополосного стана горячей прокатки: монография. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2008. 102 с.

3. Обобщенная методика диагностирования механического и электрического оборудования металлургических агрегатов / М.В. Коновалов, С.И. Лукьянов, Е.С. Суспицын и др. // Изв. вузов. Электромеханика. 2009. №1. С. 38-42.
4. Лукьянов С.И., Суспицын Е.С., Красильников С.С. Совершенствование системы управления электроприводами основных механизмов МНЛЗ: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. 91 с.
5. Лукьянов С.И., Пишнограев Р.С., Красильников С.С. Применение двумерной интерполяции в задачах теплового мониторинга процесса первичной кристаллизации слитка на МНЛЗ // Математическая и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах: междунар. сб. науч. трудов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. Ч. II. С. 61-67.
6. Лукьянов С.И., Суспицын Е.С., Коновалов М.В. Система диагностирования механического оборудования электропривода тянущих роликов машины непрерывного литья // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. №3. С. 23-25.
7. Аппаратно-программный комплекс диагностирования силовых трансформаторов / А.С. Карандаев, С.А. Евдокимов, С.Л. Цемошевич, С.Е. Мостовой // Современные информационные технологии: труды междунар. науч.-техн. конференции. Пенза: Пензенская государственная технологическая академия, 2011. Вып. 13. С. 16-22.
8. Карандаева О.И. Характеристика повреждаемости сетевых и блочных трансформаторов ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». Вып. 16. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2011. №34(251). С. 15-20.
9. Анализ повреждаемости силовых трансформаторов электростанций металлургического комбината / Е.А. Кузнецов, А.Я. Альбрехт, О.И. Карандаева, С.Л. Цемошевич // Изв. вузов. Электромеханика. 2011. №4. С. 82-85.
10. Диагностирование силовых трансформаторов методом акустической локализации частичных разрядов / А.С. Карандаев, С.А. Евдокимов, Д.Х. Девятков, Б.Н. Парсункин, А.А. Сарлыбаев // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. №1. С. 105-108.
11. Основные неисправности и методы диагностирования силовых трансформаторов в условиях эксплуатации / И.Г. Гун, В.М. Салганик, С.А. Евдокимов, А.А. Сарлыбаев // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. №1. С. 102-105.
12. Контроль технического состояния силовых трансформаторов методом акустического диагностирования / А.С. Карандаев, С.А. Евдокимов, О.И. Карандаева, С.Е. Мостовой, А.А. Чертусов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». Вып. 10. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. № 26(126). С. 26-31.
13. Методика диагностирования силовых трансформаторов на основе кластерной обработки акустических сигналов / А.С. Карандаев, С.А. Евдокимов, С.Л. Цемошевич, С.Е. Мостовой, А.В. Ануфриев, А.А. Сарлыбаев // Изв. вузов. Электромеханика. 2011. №4. С. 86-90.
14. Внедрение системы оперативного контроля технического состояния трансформатора дуговой сталеплавильной печи / С.А. Евдокимов, А.А. Сарлыбаев, О.И. Карандаева, Р.А. Леднов // Повышение эффективности энергетического оборудования: материалы VIII междунар. науч.-практ. конференции. М.: МЭИ, 2013. С. 284-302.
15. Диагностирование технического состояния силовых трансформаторов как составляющая SMART GRID-технологий в промышленных электросетях / А.С. Карандаев, А.А. Николаев, С.А. Евдокимов, Л.А. Маслов // Современные информационные технологии: труды междунар. науч.-техн. конференции. Пенза: Пензенская государственная технологическая академия, 2013. Вып. 17. С. 132-139.
16. Требования к системе мониторинга технического состояния трансформатора сверхмощной дуговой сталеплавильной печи / А.С. Карандаев, С.А. Евдокимов, А.А. Сарлыбаев, Р.А. Леднов // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2013. №2. С. 58-68.
17. Купцов В.В., Петушков М.Ю., Сарваров А.С. Метод расчета электромагнитного момента для задач конечно-элементного моделирования асинхронного двигателя // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». Вып.13. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2010. №14(190). С. 57-61.
18. Купцов В.В., Горзунов А.С., Сарваров А.С. Разработка методики токовой диагностики асинхронных двигателей по осциллограммам нестационарных режимов работы // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». Вып. 19. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009. №4. С. 60-67.

THE DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF INTELLIGENT SYSTEMS FOR ELECTRICAL EQUIPMENT STATE DIAGNOSTICS

Lukyanov Sergey Ivanovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Director of Power Engineering and Automated Systems Institute, Head of Electronics and Microelectronics Engineering Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519) 22-72-79.

Karandaev Alexander Sergeevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8 (3519) 29-84-16. E-mail: askaran@mail.ru.

Evdokimov Sergej Alekseevich – Ph.D. (Eng), Associate Professor, Electronics and Microelectronics Engineering Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8 (3519) 29-85-86. E-mail: evdmgtu@yandex.ru.

Sarvarov Anvar Sabulhanovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Head of the Automated Electric and Mechatronics Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519) 22-45-87. E-mail: anvar@magtu.ru.

Petushkov Mihail Jur'evich – Ph.D. (Eng), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8 (3519) 29-85-86. E-mail: petushkov_m@mail.ru.

Khramshin Vadim Rifhatovich – Ph.D. (Eng), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8 (3519) 29-84-16. E-mail: hvr_mgn@mail.ru.

Abstract. One of the main research fields of the Power Engineering and Automated Systems Institute research teams of Nosov Magnitogorsk State Technical University (NMSTU) is the development of continuous monitoring and state diagnostic systems for electrical equipment of metallurgical facilities. The technological defect diagnostic principle for slab continuous casting machines was considered on the basis of analysis of heat exchange process characteristics between the working face of the mould walls and the ingot. The diagnostic method of equipment for electric motor load current regulation was also considered. The article shows the functional flow diagram of transformer state continuous control system of ultra-high power electric arc furnaces. This control system was implemented in the electric furnace shop of OJSC «MMK». The analysis of the technical state monitoring system of the group electric drive induction motors at the rolling table sections of the 5000 rolling mill was carried out. A new method was offered for induction motor technical state monitoring using the generalized current vector in starting conditions. The research team carried out the comparative analysis of experimentally measured current spectral recording and justified the application of continuous wavelet transformation of the generalized current vector.

Keywords: metallurgical enterprise, billet continuous casting machine, power station, electric arc furnace, power transformer, plate hot rolling mill, rolling table, controlled electric drive, induction motor, technical state, monitoring, systems, methods, implementation.

References

- Lukyanov S.I., Suspitsin E.S., Pishnograev R.S. *Diagnostirovanie jelektroprivoda tjanushhepravil'nogo ustrojstva MNLZ: monografija*. [Diagnostics of withdrawal and straightening unit electric drive of billet continuous casting machine: monograph]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2005, 150 p.
- Lukyanov S.I., Pishnograev R.S., Suspitsin E.S. *Diagnostirovanie jelektroprivoda otvodjashhego rol'ganga shirokopolosnogo stana gorjachej prokatki: Monografija*. [Diagnostics of runoff table electric drive of wide strip hot rolling mill: Monograph]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2008, 102 p.
- Konovalev M.V., Lukyanov S.I., Suspitsin E.S. et al. Obobshhennaja metodika diagnostirovanija mehanicheskogo i jelektricheskogo oborudovanija metallurgicheskikh agregatov. [General method of monitoring mechanical and electrical equipment of metallurgical facilities]. *Izvestija vuzov. Jelektromehaniika*. [Proceedings of universities. Electromechanics], 2009, no. 1, pp. 38-42.
- Lukyanov S.I., Suspitsin E.S., Krasilnikov S.S. *Sovershenstvovanie sistemy upravlenija jelektroprivodami osnovnykh mehanizmov MNLZ: monografija*. [Enhancement of electric drive control systems of billet continuous casting machine: monograph]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2011, 91 p.
- Lukyanov S.I., Pishnograev R.S., Krasilnikov S.S. Primenenie dvumernoj interpoljacji v zadachah teplovogo monitoringa processa pervichnoj kristallizacii slitka na MNLZ. [Application of two-dimensional interpolation in thermal monitoring of ingot initial solidification process at billet continuous casting machine]. *Matematicheskoe i programnoe obespechenie sistem v promyshlennoj i social'noj sferah*. [Mathematical support and software in industry and social services]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2011, Part II, pp. 61-67.
- Lukyanov S.I., Suspitsin E.S., Konovalev M.V. Sistema diagnostirovanija mehanicheskogo oborudovanija jelektroprivoda tjanushhih rol'kov mashiny nepreryvnogo lit'ja. [Diagnostic system of electric drive mechanical equipment of continuous casting machine pulling rolls]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2011, no. 3, pp. 23-25.
- Karandaev A.S., Evdokimov S.A., Tsemoshevich S.L., Mostovoy S.E. Apparato-programmnyj kompleks diagnostirovanija silovykh transformatorov. [Hardware and software complex of power transformer monitoring]. *Sovremennye informacionnye tehnologii: Trudy mezhdunarodnoj nauchno-tehničeskoi konferencii*. [Current information technology: Articles of the international scientific and technical conference], Penza: Penza State Technological Academy, 2011, Iss. 13, pp. 16-22.
- Karandaeva O.I. Harakteristika povrezhdaemosti setevykh i blochnykh transformatorov OAO «Magnitogorskij metallurgicheskij kombinat». [Damage rate characteristic of mains supply and package transformers at «MMK» OJSC]. *Vestnik Juzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija «Jenergetika»*. Vyp. 16. [Vestnik of South Ural state university. «Power engineering» Series. Iss. 16]. Chelyabinsk: Publishing house of South Ural State University, 2011, no. 34 (251), pp. 15-20.
- Kuznetsov E.A., Albreht A.Ya., Karandaeva O.I., Tsemoshevich S.L. Analiz povrezhdaemosti silovykh transformatorov jelektrostancij metallurgicheskogo kombinata [Damage rate analysis of power transformers at metallurgical plant power stations]. *Izvestija vuzov. Jelektromehaniika*. [Proceedings of universities. Electromechanics], 2011, no. 4, pp. 82-85.
- Karandaev A.S., Evdokimov S.A., Devyatov D.H., Parsunkin B.N., Sarlibaev A.A. Diagnostirovanie silovykh transformatorov metodom akustičeskoi lokacii chastichnykh razrjadov. [Power transformer diagnostics using the method of partial discharge acoustic radar]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2012, no. 1, pp. 105-108.
- Gun I.G., Salganik V.M., Evdokimov S.A., Sarlibaev A.A. Osnovnye neispravnosti i metody diagnostirovanija silovykh transformatorov v uslovijah jekspluatcii. [Main faults and diagnostic methods of power transformers in operating conditions]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2012, no. 1, pp. 102-105.
- Karandaev A.S., Evdokimov S.A., Karandaeva O.I., Mostovoy S.E., Chertousov A.A. Kontrol' tehničeskogo sostojanija silovykh transformatorov metodom akustičeskogo diagnostirovanija. [Control of power transformer technical state using acoustic diagnostics method]. *Vestnik Juzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija «Jenergetika»*. Vyp. 10. [Vestnik of South Ural state university. «Power engineering» Series. Issue 10.] Chelyabinsk: Publishing house of South Ural state university, 2008, no. 26(126), pp. 26-31.
- Karandaev A.S., Evdokimov S.A., Tsemoshevich S.L., Mostovoy S.E., Anufriev A.V., Sarlibaev A.A. Metodika diagnostirovanija silovykh transformatorov na osnove klasternoj obrabotki akustičeskikh signalov. [Power transformer diagnostic method on the basis of cluster processing of acoustic signals]. *Izvestija vuzov. Jelektromehaniika*. [Proceedings of universities. Electromechanics], 2011, no. 4, pp. 86-90.

14. Evdokimov S.A., Sarlibaev A.A., Karandaeva O.I., Lednov R.A. Vnedrenie sistemy operativnogo kontrolja tehničeskogo sostojanija transformatora dugovoj staleplavil'noj pechi. [Introduction of transformer technical state monitoring system of electric arc furnace]. *Povyshenie jeffektivnosti jenergetičeskogo oborudovanija: Materialy VIII Mezh-dunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencii*. [Improvement of energy equipment efficiency: Proceedings of VIII International scientific and technical conference.], Moscow: MPEI, 2013, pp. 284-302.
15. Karandaev A.S., Nikolaev A.A., Evdokimov S.A., Maslov L.A. Diagnostirovanie tehničeskogo sostojanija silovyh transformatorov kak sostavljajushhaja SMART GRID-tehnologij v promyshlennyh elektrosetjah [Diagnostics of power transformer technical state as a part of SMART GRID-technology in industrial power systems]. *Sovremennye informacionnye tehnologii: Trudy mezhdunarodnoj nauchno-tehničeskoj konferencii* [Current information technology: Articles of the international scientific and technical conference]. Penza: Penza State Technological Academy, 2013, Iss. 17, pp. 132-139.
16. Karandaev A.S., Evdokimov S.A., Sarlibaev A.A., Lednov R.A. Trebovanija k sisteme monitoringa tehničeskogo sostojanija transformatora sverhmoshnoj dugovoj staleplavil'noj pechi [Requirements to transformer technical state monitoring system of ultrahigh power electric arc furnace]. *Mashinostroenie: setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal*. [Russian Internet Journal of Industrial Engineering], 2013, no. 2, pp. 58-68.
17. Kuptsov V.V., Petushkov M.Yu., Sarvarov A.S. Metod rasčeta jelektromagnitnogo momenta dlja zadach konečno-jelementnogo modelirovanija asinhronnogo dvigatelja [Electromagnetic torque calculation method for finite-element modeling of induction motor]. *Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija «Jenergetika». Vyp. 13*. [Vestnik of South Ural state university. «Power engineering» Series. Issue 13]. Chelyabinsk: Publishing house of South Ural State University, 2010, no. 14 (190), pp. 57–61.
18. Kuptsov V.V., Gorzunov A.S., Sarvarov A.S. Razrabotka metodiki tokovoj diagnostiki asinhronnyh dvigatelej po oscillogrammam nestacionarnykh rezhimov raboty [Development of induction motor current monitoring method by oscillograph record of transient operating modes]. *Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija «Jenergetika». Vyp. 19*. [Vestnik of South Ural state university. «Power engineering» Series. Issue 19]. Chelyabinsk: Publishing house of South Ural State University, 2009, no. 4, pp. 60-67.

От редакции

Под руководством д-ра техн. наук Кришана А.Л. в МГТУ им. Г.И. Носова продолжаются работы в рамках научного направления «Прочность и деформативность предварительно обжатых трубобетонных колонн».

На основании результатов экспериментальных и теоретических исследований сформулированы предложения по расчету и конструированию трубобетонных колонн, которые положены в основу нормативного документа СТО 36554501-025-0211 «Трубобетонные колонны», разработанного и изданного совместно с НИИЖБ ОАО «НИЦ «Строительство» в 2011 г.

Научная школа «Усовершенствование конструкций и разработка методов расчета сталебетонных конструкций», возглавляемая д-ром техн. наук А.Л. Кришаном, уже более 15 лет работает над созданием новых конструкций и выполняет экспериментально-теоретические исследования трубобетонных колонн. Коллектив школы плодотворно сотрудничает с ведущими научными центрами РФ в данной области – Российской академией архитектурно-строительных наук и Московским государственным строительным университетом. Уже не один год содействию работам оказывает ОАО «Уральский трубный завод». С 2009 по 2013 гг. весомая поддержка коллективу была оказана со стороны ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», который финансировал НИИОКР по этому направлению. Новизна научных достижений подтверждена 6 авторскими свидетельствами на изобретения и 11 патентами РФ на полезную модель. Инновационные разработки были отмечены грантами Министерства экономического развития Челябинской области и Министерства образования РФ, награждены дипломом на X Петербургском международном экономическом форуме, серебряной медалью на международной выставке-конгрессе «Высокие технологии, инновации, инвестиции», проводившейся в 2006 г. в г. Санкт-Петербурге, серебряной медалью на VIII Московском международном салоне инноваций и инвестиций, гран-при за победу в конкурсе «Лучший инновационный проект и научно-техническая разработка» на III салоне инноваций Челябинской области.

УДК 624.012.3/4

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТРУБОБЕТОННЫХ КОЛОНН НА СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТАХ РОССИИ

Кришан А.Л., Кришан М.А., Сабиров Р.Р.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

Аннотация. Изложены мировые тенденции применения в строительстве сталебетонных конструкций. Приведены конструктивные решения, а также основные достоинства и недостатки трубобетонных колонн. Отмечены факторы, сдерживающие их широкое использование на практике. Даны предложения по усовершенствованию конструкции сжатых трубобетонных элементов. Практическое использование таких конструкций в опытном порядке осуществлено при строительстве двух объектов ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

Ключевые слова: сталебетонные конструкции, трубобетонные колонны, усовершенствование конструкции, предварительное обжатие, опытное внедрение.

В связи с продолжающимся экономическим кризисом металлургическая отрасль сейчас испытывает определенные трудности со сбытом своей продукции. В этой связи представляется актуальным поиск новых и расширение существующих областей применения металлопродукции. Одной из таких областей является строительство.

Анализ существующих мировых тенденций в строительной отрасли свидетельствует о том, что во многих экономически развитых странах при возведении зданий и сооружений все шире применяются сталебетонные конструкции. Безусловным лидером здесь является Япония [1], где ежегодно возводится не менее 150 многоэтажных зданий с увеличенной сеткой колонн с применением таких конструкций.

Сталебетонные конструкции обладают рядом существенных достоинств по сравнению с железобетонными или металлическими. Основные из них – высокие несущая способность, жесткость и надежность в

эксплуатации, большая скорость возведения каркаса, а в конечном счете сокращение расхода материальных и денежных ресурсов на изготовление.

Например, в последнее время все большее распространение получают колонны, выполненные из стальных труб, заполненных бетоном. Они представляют собой один из немногих удачных примеров, когда бетон и сталь взаимно и существенно повышают несущую способность друг друга и всего элемента в целом.

В случае использования для внешней оболочки конструкций труб из углеродистой стали обыкновенного качества для ядра трубобетонных колонн (ТБК) наиболее эффективно применение тяжелых бетонов классов В20-В35. При необходимости использования бетонов более высокой прочности стальные трубы также рекомендуется принимать из сталей повышенной прочности.

Заполнение трубы бетонной смесью может осуществляться как методом заливки сверху (при этом желательно осуществлять закачивание смеси с помощью

бетононасосов по резиновым рукавам), так и методом накачки снизу, с одновременным омоноличиванием бетоном узлов сопряжения. В современном строительстве рекомендуется применять литые бетонные смеси.

Сжатые трубобетонные элементы классической конструкции обычно выполняют со сплошным поперечным сечением, как правило, круглым, реже – квадратным или прямоугольным (рис. 1). Внутри бетонного ядра может устанавливаться продольная или косвенная арматура, в том числе высокопрочная (рис. 2).

Преимущества конструктивного, технологического и экономического характера трубобетонных колонн, перечисленные в таблице, свидетельствуют о целесообразности их широкого практического использования.

При продольном сжатии трубобетонного элемента реактивное боковое давление, действующее со стороны стальной оболочки на бетонное ядро, создает для бетона благоприятные условия работы – объемное сжатие. В результате, прочность бетона при сжатии существенно возрастает (примерно в 1,6-2,7 раза). Стальная обойма, в свою очередь, благодаря благоприятному влиянию внутреннего давления твердой среды, предохранена от потери местной устойчивости.

Сжатые трубобетонные элементы, даже имеющие ядро из высокопрочного бетона, отличаются пластичным характером работы в предельном состоянии, что исключает опасность внезапного разрушения как отдельной конструкции, так и всего здания в целом.

Сжатые трубобетонные стержни, изготовленные из круглых стальных труб, отличаются равноустойчивостью вследствие осевой симметрии их поперечного сечения. Жесткость на кручение такого стержня на порядок выше, чем у стержней незамкнутого профиля.

За ненадобностью опалубочного оборудования процесс изготовления трубобетонных элементов значительно облегчается и становится выгоднее как по трудозатратам, так и по стоимости.

Также следует отметить, что огнестойкость ТБК значительно выше, чем у металлических конструкций и при величине наружного диаметра поперечного сечения трубы 426 мм достигает 2,5 ч без использования огнезащитных покрытий.

Несмотря на то, что исследования особенностей работы ТБК занимались многие отечественные ученые, среди которых следует отметить научные школы А.А. Долженко, Л.К. Лукши, И.Г. Людковского, Р.С. Санжаровского, Л.И. Стороженко, все же такие колонны не нашли широкого практического применения в России. Отчасти это обусловлено наличием известного конструктивного недостатка традиционных трубобетонных колонн – сложностью обеспечения совместной работы бетонного ядра и внешней стальной оболочки при эксплуатационных нагрузках. Ввиду разности начальных коэффициентов поперечной деформации бетона и стали ($\nu_b \approx 0,18-0,25$, $\nu_s \approx 0,3$), в процессе постепенного увеличения приложенной к трубобетонной колонне сжимающей силы, ядро и обойма работают совместно только в начальный период загрузки. Затем, из-за указанной разницы в деформативных свойствах, внешняя оболочка стремится оторваться от поверхности бетона, способствуя возникновению в нем радиальных растягивающих напряжений. Это может привести к нарушению сцепления между бетонным ядром и стальной оболочкой. Факторами, усугубляющими этот процесс, может стать усадка бетона и низкая прочность сцепления бетона с трубой.

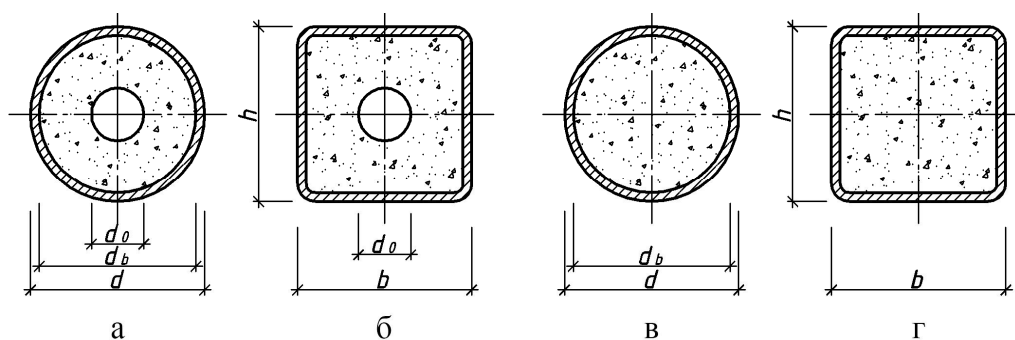


Рис. 1. Формы поперечных сечений и варианты армирования бетонного ядра трубобетонных колонн

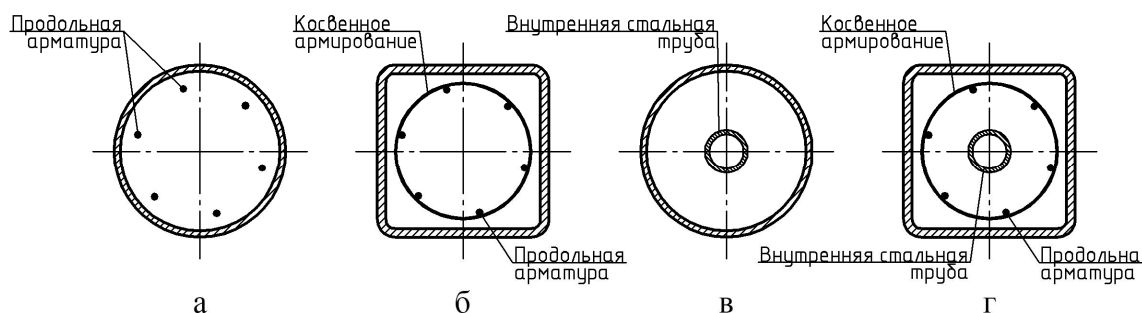


Рис. 2. Варианты армирования бетонного ядра трубобетонных колонн

Эксперименты свидетельствуют о невозможности полного использования прочностных свойств объемно сжатого бетонного ядра ТБК классической конструкции из-за их высокой деформативности. Деформации укорочения сжатого трубобетонного элемента перед его разрушением достигают величин, не позволяющих обеспечить условия нормальной эксплуатации для несущего каркаса здания. По результатам многочисленных опытов деформации укорочения центрально сжатых ТБК могут достигать 10-15% и более.

Основные преимущества трубобетонных колонн

Конструкционные и эксплуатационные	Технологические	Экономические
<ol style="list-style-type: none"> 1. Высокая несущая способность, обусловленная ростом прочности бетона, работающего в условиях объемного сжатия. 2. Эффективность использования стальной обоймы, выполняющей роль продольной и поперечной арматуры. 3. Высокая надежность, обусловленная пластическим характером разрушения при использовании ядра из высокопрочного бетона. 4. Высокая стойкость здания к сейсмическим воздействиям, взрывам и ударам. 5. Повышение огнестойкости несущих элементов каркаса по сравнению со стальными конструкциями. 6. Повышение долговечности бетона и стойкости к атмосферным воздействиям. 7. Улучшение реологических характеристик бетона. 8. Снижение массы несущего каркаса 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Выполнение стальной трубой роли первичного каркаса здания и несъемной опалубки для бетона. 2. Возможность осуществлять работы по монтажу каркаса в зимнее время. 3. Высокая скорость возведения каркасов, в 3-4 раза превосходящая аналогичную для классического железобетона. 4. Снижение объемов сварочных работ в 2-3 раза. 5. Возможность получения высокой прочности ядра из бетона на рядовых заполнителях и цементах средних марок 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сокращение расхода металла и бетона на возведение каркаса здания. 2. Отсутствие необходимости в использовании опалубки, хомутов, отгибов, петель, закладных деталей. 3. Сокращение сроков строительства коробок зданий и сооружений в 1,5-2 раза. 4. Снижение себестоимости строительства коробок зданий и сооружений на 25-30%

В Магнитогорском государственном техническом университете предложена усовершенствованная конструкция сжатого трубобетонного элемента, имеющего предварительно обжатое в поперечном направлении бетонное ядро.

Предварительное обжатие ТБК осуществляется одним из двух способов:

- посредством длительного прессования бетонной смеси при их изготовлении;
- за счет применения напрягающего бетона, использующего энергию расширяющегося цемента.

Особенно эффективно применение длительного прессования, которое рекомендуется производить давлением 1,5-4 МПа двумя методами:

- с помощью пустотообразователя специальной конструкции;
- путем последовательного вдавливания в бетонную смесь вдоль направляющего стержня стальных труб с разными диаметрами.

В процессе прессования из бетонной смеси отжимается «свободная» (не вступившая во взаимодей-

ствие с частицами цемента) вода. Прессующее давление через бетонную смесь передается на внутреннюю поверхность стальной трубы-оболочки. Благодаря этому создается предварительное растяжение стальной оболочки и последующее обжатие бетонного ядра.

Сущность такой технологии подробно изложена в работах [2, 3].

Данная технология изготовления обеспечивает совместную работу бетона и стали на всех этапах работы трубобетонного элемента. Кроме того, бетон,

твердеющий под давлением порядка 3 МПа, имеет прочность на 50-60% выше по сравнению с исходным бетоном такого же состава, а также существенно меньшие величины деформаций усадки и ползучести.

Эффективность использования высокопрочных бетонов в сжатых трубобетонных элементах усовершенствованной конструкции установлена по результатам испытаний более двухсот опытных образцов ТБК, имеющих различные геометрические и конструктивные параметры. Результаты экспериментов показали, что практически для всех предварительно напряженных образцов наблюдалось существенное повышение предела упругой работы (до 65%) и уровня разрушающей нагрузки. По сравнению с традиционными железобетонными элементами, имеющими аналогичные параметры бетона и арматуры, несущая способность выросла в 1,4-1,6 раза.

Полученные результаты можно объяснить значительным ростом прочности бетонного ядра в предварительно обжатых элементах вследствие одновременного проявления трех известных эффектов – длительного прессования бетонной смеси, предварительного бокового обжатия бетонного ядра и его работе в условиях объемного сжатия. В трубобетонных элементах усовершенствованной конструкции, за счет использования предварительно обжатого бетона, удалось достичь прочности бетонного ядра порядка 240 МПа.

Практическое использование таких конструкций в опытном порядке осуществлено при строительстве двух объектов ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»:

- Комплекс толстолистового стана 5000 (использовано 8 колон высотой 6 м из трубы диаметром 820 мм, толщиной стенки 10 мм по ГОСТ 10704-91 и исходного бетона класса В20 в районе клетки стана);

- Доменный цех. Печь №6. Реконструкция (стальные опоры пешеходной галереи литейного двора средней высотой 9 м из трубы диаметром 630 мм и толщиной стенки 8 мм по ГОСТ 10704-91 и исходного бетона класса В20).

Опытное внедрение трубобетонных колонн подтвердило их экономическую эффективность – стоимость колонн по сравнению с исходными вариантами удалось снизить не менее чем на 30%.

Таким образом, результаты выполненных масштабных экспериментов и опытного внедрения трубобетонных колонн усовершенствованной конструкции свидетельствуют о целесообразности их более широкого использования в практике строительства.

Список литературы

1. Nishiyama I., Morino S., Sakino K., Nakahara H. 2002: Summary of Research on Concrete-Filled Structural Steel Tube Column System Carried Out Under The US-JAPAN Cooperative Research Program on Composite and Hybrid Structures. Japan. 176 p.
2. Кришан А.Л., Ремнев В.В. Трубобетонные колонны для высотных зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2009. №10. С. 22-24.
3. Кришан А.Л. Трубобетонные колонны с предварительно обжатым ядром: монография. Ростов н/Д.: Рост. гос. строит. ун-т, 2011. 372 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

PERSPECTIVES TO APPLY CONCRETE FILLED STEEL TUBE COLUMNS IN CONSTRUCTION PROJECTS OF RUSSIA

Krishan Anatoly Leonidovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Head of Department of Building Design and Constructions, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: kris_al@mail.ru.

Krishan Maria Anatolyevna – Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: skymanica@mail.ru.

Sabirov Rustam Ravilevich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: sabirov_rustam66@mail.ru.

Abstract. The global tendencies to apply concrete filled steel tube constructions are presented. Structural concepts, as well as the main advantages and disadvantages of concrete filled steel tube columns are given. The factors to constrain their wide practical use are noted. Suggestions to improve the design of compression concrete filled steel tube elements are set out. Practical use of such structures in the experimental procedure is performed in the construction of two objects at OJSC «ММК».

Keywords: concrete filled steel tube constructions, concrete filled steel tube columns, improvement of the construction, prestressing, experimental installation.

References

1. Nishiyama I., Morino S., Sakino K., Nakahara H. 2002: Summary of Research on Concrete-Filled Structural Steel Tube Column System Carried Out Under The US-JAPAN Cooperative Research Program on Composite and Hybrid Structures. Japan. 176 p.
2. Krishan A.L., Remnev V.V. Pipe-Concrete Columns for High-Rise Buildings *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2009, no. 10, pp. 22-24.
3. Krishan A.L. *Trubobetonnnye kolonny s predvaritelno obzhatym yadrom: monografiya* [Concrete filled steel tube Columns with Prestressed Core: monograph]. Rostov-on-Don: RSUCE, 2011, 372 p.

От редакции

Научная школа МГТУ им. Г.И. Носова «Научные и методологические основы прогнозирования и повышения надежности элементов механических систем на базе эргодинамической концепции прочности материалов» под руководством проф., д-ра техн. наук Анцупова В.П. занимается разработкой фундаментальных положений теории проектной оценки надежности, общих принципов повышения долговечности технических объектов по кинетическому критерию прочности материалов, что позволило спроектировать и внедрить на промышленных и ремонтных предприятиях России ряд новых конструктивных решений различных устройств и механизмов с повышением не менее чем в два раза сроков службы.

Выполняются работы с ОАО «ММК», ОАО «НЛМК», АО АВТОВАЗ, АО «Вологодский подшипниковый завод», Рижское производственное объединение, ремонтное предприятие «ЦБПО СТиНО» (г. Нефтеюганск), МГП «Дизельаппаратура» (г. Ярославль), ремонтное предприятие СУПНР (г. Магнитогорск), Еманжелинский ремонтный завод и др.

Успешно развиваются творческие контакты с Петербургской научной школой «Трибология и надежность», Самарской научной школой «Современные проблемы трибологии» – научным центром РАН «Надежность», лабораторией конструкционных материалов института машиноведения УрО РАН и др.

Результаты научных исследований использованы при разработке рабочих программ по ряду дисциплин при подготовке студентов по направлению 1504.00.62 и 151000.68 – Технологические машины и оборудование и специальности 1504.04.65 – Металлургические машины и оборудование.

УДК 531.43/46

ОСНОВЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПО КРИТЕРИЯМ КИНЕТИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ МАТЕРИАЛОВ

Анцупов В.П.¹, Дворников Л.Т.², Громаковский Д.Г.³, Анцупов А.В. (мл.)¹, Анцупов А.В.¹

¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

² Сибирский государственный индустриальный университет, Россия

³ Самарский государственный технический университет, Россия

Аннотация. Сформулированы основные принципы теории прогнозирования надежности нагруженных элементов механических систем на стадии их конструкторской разработки, положенные в основу создания методологии постановки и решения краевых задач для проектной оценки показателей безотказности и долговечности по критериям кинетической прочности материалов. Показан пример реализации методологии для проектного анализа и обоснования реконструкции привода вращения обжиговой печи агрегата для производства клинкера, которая внедрена в промышленное производство ОАО «МЦОЗ» группы компаний ОАО «ММК».

Ключевые слова: теория, основы, кинетическая прочность, методология, прогнозирование, надежность, безотказность, долговечность, отказ, повреждаемость, гамма-процентный ресурс.

Постановка проблемы

Практика эксплуатации различных механических систем показывает, что их надежность, как способность сохранять во времени работоспособное состояние, лимитируется главным образом техническим состоянием ее элементов – деталей и узлов наиболее нагруженных сборочных единиц, устройств и механизмов. Это связано с тем, что ведущие процессы утраты их работоспособности – разрушение или недопустимая пластическая деформация; много- и малоцикловая объемная усталость; множество видов поверхностного разрушения деталей при трении, являются причиной отказов практически 100% механических систем машин и агрегатов и приводят к значительным экономическим потерям.

В таких условиях с одновременным возрастанием требований к быстроходности, грузоподъемности, производительности и энергоемкости современных машин актуальной становится проблема обеспечения надежности механических систем на всех стадиях их

жизненного цикла. Первостепенную значимость приобретают этапы проектно-конструкторской разработки, особенно стадия конструирования, на которой при сравнительном анализе вариантов конструкции деталей, узлов и компоновке машины согласно ГОСТ 2.106-96 и нормативным рекомендациям [1] выполняются контрольную проверку (проверочные расчеты) надежности отдельных элементов и машины в целом. В этом плане главной проблемой теории надежности является предсказание поведения деталей и узлов механических систем в предполагаемых условиях внешнего нагружения, когда еще на стадии проектирования или эксплуатации с опережением времени становится возможным с необходимой степенью достоверности оценить показатели их безотказности и долговечности и проанализировать возможные способы обеспечения их требуемого уровня [2-6].

Несмотря на высокий уровень современных представлений о физической природе процессов повреждаемости и разрушения материалов, получить исчерпывающее теоретическое описание процессов

формирования отказов деталей машин пока не удается. Вопрос о чисто аналитической оценке процесса деградации нагруженных элементов и прогнозирования показателей их безотказности и долговечности на стадии конструирования в физической теории надежности остается наиболее открытым. В научном плане эта задача требует развития теоретической базы и новых методологических принципов построения моделей проектных отказов деталей, узлов и механизмов на стадии конструкторской разработки для поиска корреляции между ожидаемым ресурсом изделий, свойствами материалов и условиями эксплуатации.

Основные теоретические положения

Решение указанных проблем, на наш взгляд, возможно с использованием кинетического подхода, который рассматривает процесс разрушения материалов элементов механических систем как кинетический, развивающийся во времени процесс постепенной повреждаемости материалов и накопления дефектов их структуры на различных масштабных уровнях [7-10].

Основные научные положения физической теории надежности деталей машин, обобщающие практический опыт и отражающие объективные закономерности их стохастического поведения под нагрузкой, т.е. смену их состояния в процессе эксплуатации, могут быть сформулированы в виде совокупности следующих исходных принципов.

1. Объективный процесс деградации (старения) любого нагруженного объекта, протекающий с той или иной скоростью (мгновенно или постепенно), сопровождается изменением множества его свойств и характеризуется изменением значений *параметров*, количественно определяющих эти свойства. Поэтому на основе базового понятия «состояние объекта» [11] процесс деградации изделия при эксплуатации (его поведение или объективная смена состояний) отражается изменением выбранного параметра (параметров) объекта от его начального значения, соответствующего исходному моменту времени, до установленного в НТД конечного (предельного) значения, соответствующего моменту отказа изделия, т.е. определяется как *процесс формирования его параметрического отказа*.

2. С этой точки зрения, полагая, что выбранный контролируемый параметр является случайной величиной, распределенной по определенному закону, техническое состояние объекта в любой фиксированный момент времени эксплуатации определяется текущим вероятным значением параметра, а уровень его безотказности в этот момент количественно оценивается значением вероятности безотказной работы – вероятностью недостижения параметром его предельного значения.

3. Длительность эксплуатации изделия, его долговечность, определяется моментом достижения случайным параметром состояния предельного значения и количественно оценивается величиной его гамма-процентного ресурса для заранее заданной допустимой величины вероятности безотказной работы, равной гамма.

4. Текущее вероятное значение контролируемого *параметра* объекта определяется текущей степенью

поврежденности структуры его материала, а скорость изменения параметра – скорость деградации (старения) объекта, зависит от *скорости повреждаемости структуры материала* (скорости накопления в ней различного рода дефектов).

5. Скорость повреждаемости структуры материала изделия при его эксплуатации в соответствии с термодинамической теорией прочности твердых тел В.В. Федорова [8] может быть определена скоростью изменения (накопления) плотности внутренней энергии в наиболее нагруженных локальных объемах материала.

6. Для описания процесса деградации элементов механических систем, подверженных внешнему объемному нагружению, в качестве контролируемого параметра принимается плотность внутренней энергии в локальных объемах материала, величина которой при эксплуатации изменяется от начального до предельного значения, равного энтальпии материала при температуре плавления.

7. Для описания процесса деградации элементов механических систем, подверженных поверхностному нагружению в условиях внешнего трения, в качестве контролируемого параметра принимается линейный размер трибоэлемента, изменяющийся при эксплуатации от исходной до предельной величины, и функционально связанный с плотностью внутренней энергии в локальных объемах материала поверхностного слоя.

Практическая реализация теоретических разработок

С изложенных выше теоретических позиций разработана общая методология построения физико-вероятностных моделей (постановки и решения краевых задач) для проектной оценки показателей надежности двух классов объектов – объемно и поверхностно нагруженных деталей машин, по критериям кинетической прочности деформируемых материалов [12-15].

Для выбранного параметра X_t состояния объекта, изменение которого моделирует его поведение в процессе будущей эксплуатации, общий методологический подход сформулирован в виде семиэтапной совокупности правил построения замкнутой системы уравнений для оценки:

– скорости деградации изделия \dot{X}_t , в функции скорости повреждаемости структуры материалов (скорости изменения плотности внутренней энергии локальных объемов материала) \dot{i}_t или для стационарных условий нагружения $\dot{X}(\dot{i}_e)$. Здесь, \dot{X} – постоянная во времени скорость старения изделия, \dot{i}_e – скорость повреждаемости структуры (скорость изменения потенциальной составляющей плотности внутренней энергии);

– вероятности безотказной работы изделия на любой фиксированный момент эксплуатации $P(t) = P(X_t < x_{np})$, где x_{np} – предельное значение параметра состояния X_t ;

– гамма-процентного ресурса изделия $t_\gamma(X_0, \dot{X}, [P(t) = \gamma])$, где X_0 – распределение случайного параметра X_t в начальный момент времени $t = t_0$, $[P(t) = \gamma]$ – допустимое значение вероятности безотказной работы, для заданных условий однозначности – расчетной схемы нагружения изделия, его отличительных особенностей, начальных и граничных условий, закона распределения параметра X_t .

Реализация предложенной методологии для проектной оценки и повышения долговечности различных деталей узлов трения подробно описана в работах [16-22]. В данной статье показано ее использование для объемно нагруженных изделий.

Ниже в качестве примера представлен вариант проектной оценки долговечности привода вращения обжиговой печи D-4,5xL-125 агрегата для производства клинкера в ОАО «МЦОЗ» группы компаний ОАО «ММК», по критериям кинетической прочности материала нагруженных элементов, общий вид которого и кинематическая схема изображены на рисунке.

Причиной проектных исследований надежности привода вращения обжиговой печи и разработки вариантов ее реконструкции после примерно четырех лет его безотказной работы явилось неожиданное возникновение внезапных отказов привода по критериям нарушения прочности ряда деталей. В первую очередь, по причине разрыва ближних к печи болтов крепления подшипниковых опор вала шестерни 4.1 открытой зубчатой передачи (см. рисунок), затем траверсы крепления зубчатого венца 4.2, далее сварных швов ее крепления к корпусу печи и др.

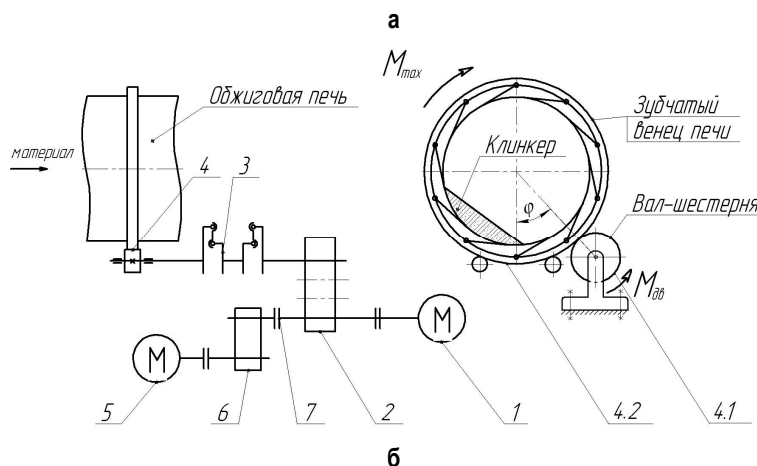
В соответствии с изложенными выше этапами общей методологии проектной оценки изделий по критериям кинетической прочности материалов была поставлена краевая задача для оценки среднего ресурса $t_\gamma = t_{50} = \bar{t}$ привода по условию прочности болтов крепления опор вала шестерни 4.1 (см. рисунок), расположенных ближе к печи и подвергающихся растяжению согласно показанной кинематической схеме.

Постановка задачи в соответствии с изложенными выше теоретическими принципами и общим методологическим подходом [12-15] сформулирована в следующем виде.

I. На первом этапе в качестве параметра X_t состояния болтов крепления с площадью поперечного сечения S_0 , в которых под действием длительной стационарной внешней нагрузки F при температуре T возникают внутренние напряжения

$\sigma = F / S_0$, принимаем плотность потенциальной энергии дефектов u_{et} . Распределение случайной величины $X_t = u_{et}$ в любой момент времени t , как параметра, зависящего от множества независимых случайных факторов, будем полагать нормальным согласно центральной предельной теореме теории вероятностей [2].

Для упрощения математических выражений будем оперировать с ее средним значением \bar{u}_{et} . Эта величина характеризует текущую степень поврежденности структуры локальных объемов материала деталей и со скоростью \bar{u}_e возрастает со временем в поле приложенных напряжений от начального значения \bar{u}_{e0} до предельного (критического) – $u_{ekp} = \Delta H_S$. Здесь ΔH_S – энтальпия материала при температуре плавления.



Общий вид 125-метровой печи и кинематическая схема привода:

- 1 – главный двигатель, АОЗ-400М-6У2, $N = 315$ кВт, $n = 985$ об/мин; 2 – редуктор, ЦТ-2900-86,46, $u = 86,46$;
- 3 – муфта Ивачева; 4 – открытая зубчатая передача (4.1 – вал-шестерня, 4.2 – венец) $u = 7,5$; 5 – электродвигатель 4АР225, $N = 30$ кВт, $n = 735$ об/мин;
- 6 – редуктор Ц2У-315-16-21У2, $u = 16,43$; 7 – кулачковая муфта

II. На втором этапе формулируем уравнение состояний болтов при эксплуатации:

$$\bar{u}_{e t} = \bar{u}_{e 0} + \bar{\dot{u}}_e \cdot t, \quad (1)$$

где $\bar{u}_{e 0} = \frac{(0,071 \cdot HV)^{2,4}}{6 \cdot G \cdot (6,47 \cdot 10^{-6} \cdot HV + 0,12 \cdot 10^{-2})^2}$ –

среднее значение плотности скрытой энергии материала в исходном состоянии, HV – твердость по Виккерсу.

III. На третьем этапе формулируем один из упрощенных вариантов кинетического уравнения повреждаемости структуры локальных объемов материала болтов для определения скорости \dot{u}_e накопления в них энергии дефектов [12]:

$$\dot{u}_e = \frac{k_\sigma^2 \cdot A_0 \cdot \sigma^2}{6 \cdot G(T) \cdot v} \cdot M_R^{-2}, \quad (2)$$

где k_σ – коэффициент перенапряжения межатомных связей

$$k_\sigma = \frac{1}{6,47 \cdot 10^{-6} \cdot HV + 0,12 \cdot 10^{-2}}; \quad (2.a)$$

A_0 – коэффициент влияния напряжений и температуры на скорость повреждаемости,

$$A_0 = \frac{v \cdot U(\sigma, T)}{h \cdot N_0} \exp\left[-\frac{U(\sigma, T)}{R \cdot T}\right]; \quad (2.б)$$

$U(\sigma, T)$ – энергия активации процесса разрушения межатомных связей при данном напряжении σ и температуре T ,

$$U(\sigma, T) = U_0 - \Delta U(T) - \left(\frac{M_R^{-2} \cdot k_\sigma^2}{18 \cdot v \cdot K(T)}\right) \cdot \sigma^2; \quad (2.в)$$

$\Delta U(T)$ – доля энергии активации, определяемая температурой изделия T :

$$\Delta U(T) = \frac{3}{2} \cdot \alpha_0 \cdot K(T) \cdot T; \quad (2.г)$$

$K(T)$ – коэффициент всестороннего сжатия материала при температуре T :

$$K(T) = \frac{E(T)}{3 \cdot (1 - 2 \cdot \mu(T))}; \quad (2.д)$$

$E(T)$ и $\mu(T)$ – модуль упругости и коэффициент Пуассона материала при температуре T ;

M_R^2 – коэффициент эквивалентности напряженного состояния

$$M_R^2 = \frac{(I+r)^2 + (I-r)^2}{4}; \quad (2.e)$$

$G(T)$ – модуль упругости материала при температуре T

$$G(T) = \frac{E(T)}{2 \cdot (1 + \mu(T))}. \quad (2.ж)$$

IV. На данном этапе (пропуская все промежуточные операции, не требуемые для решения задачи) оцениваем средний ресурс элемента до его разрушения

$$\bar{t} = \Delta u_{e \text{кр}} / \bar{\dot{u}}_e = (\Delta H_S - u_{e0} - u_T) / \dot{u}_e, \quad (3)$$

где $u_T = \int_0^T \rho \cdot c \cdot dT$ – тепловая составляющая плотности внутренней энергии материала нагруженной детали при температуре T ; ρ , c – плотность и теплоемкость материала.

Решением поставленной краевой задачи для начальных и граничных условий эксплуатации болтов крепления установлена объективность возникновения описанных выше внезапных отказов привода:

– средний расчетный срок их службы для краевых условий нагружения, когда по исходной схеме они подвержены растяжению, не превышает $\bar{t} \approx 4,1$ года;

– по истечении указанного срока плотность энергии дефектов структуры материала достигает предельного значения $u_{e \text{кр}} = 10,4$ Дж / мм³, соответствующего

энтальпии материала в жидком состоянии $\Delta H_S = 10,5$ Дж / мм³, что и является объективной причиной разрушения болтов крепления и отказа привода.

Для устранения причин возникновения отказов предложены два эквивалентных, полностью разгружающих эти детали варианта реконструкции привода – его перенос на противоположную от печи сторону или смена направления вращения печи на противоположное. Экономически целесообразным оказался второй вариант.

Проектная оценка долговечности привода новой конструкции по алгоритму решения задачи (1)-(3) показала, что ожидаемый ресурс новой конструкции превышает $\bar{t} \approx 4 \cdot 10^4$ лет, что исключает возникновение его внезапных отказов с вероятностью, близкой к единице. Предложенный вариант реконструкции привода внедрен в 2013 году в ОАО «МЦОЗ» группы компаний ОАО «ММК».

Заключение

1. На основе базовых понятий теории надежности технических объектов и современных достижений физики и механики повреждаемости и разрушения твердых тел сформулированы основные принципы построения физико-вероятностных моделей отказов элементов механических систем на стадии их конструирования.

2. Предложенный подход реализован в виде методологии постановки и решения краевых задач для проектной оценки показателей безотказности и долговечности деталей машин в различных условиях их эксплуатации для заданных условий однозначности – расчетной схемы нагружения, отличительных признаков, начальных и граничных условий.

3. Выполнены проектные исследования и обоснование реконструкции привода вращения обжиговой печи для производства клинкера с повышенным сроком службы.

Список литературы

1. Надежность машиностроительной продукции: практическое руководство по нормированию, подтверждению и обеспечению. М.: Изд-во стандартов, 1990. 328 с.
2. Проников А.С. Параметрическая надежность машин. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 560 с.
3. Дворников Л.Т., Туров В.А. Состав и структура свойств надежности // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1988. №5.
4. Дворников Л.Т., Туров В.А. Особенности проектирования надежности // Стандартизация и управление качеством: Экспресс-информация КиргизНИИНТИ. Фрунзе, 1989. Вып. I.
5. Дворников Л.Т., Туров В.А. Оценка уровня надежности гидросистем буровых агрегатов на стадии проектирования // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1986. №6. С. 62-67.
6. Диагностика состояния и оценка остаточного ресурса элементов машин и конструкций / М.Б. Бакиров, Д.Г. Громаковский, А.В. Дынников и др. // Контроль. Диагностика. 2004. №1. С. 26.
7. Регель В.Р., Слуцкер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. М.: Наука, 1974. 560 с.
8. Федоров В.В. Кинетика повреждаемости и разрушения твердых тел. Ташкент: Изд-во «Фан» УзССР, 1985. 165 с.
9. Громаковский Д.Г. Разрушение поверхностей при трении и разработка кинетической модели изнашивания // Вестник машиностроения. 2000. №1. С. 3.
10. Громаковский Д.Г., Силаев Б.М., Логвинов Л.М. Проблемы разработки термофлуктуационной модели изнашивания поверхностей // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2009. №6. С. 45-48.
11. ГОСТ 20911–89. Техническая диагностика. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1990. 10 с.
12. Antsupov A.V., Antsupov A.V. (jun.), Antsupov V.P. Methodology of machine elements' reliability prediction by means of various criteria (Methodology of forecasting reliability of machine elements by various criteria) // Dependability, 2013. №3(46). P. 15-23.
13. Оценка долговечности нагруженных деталей по кинетическому критерию прочности / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов и др. // Материалы 70-й научно-технической конференции: сб. докл. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. 2012. Т.1. С. 137-141.
14. Antsupov A.V., Antsupov A.V. (jun.), Antsupov V.P. Designed assessment of machine element reliability due to efficiency criteria (Проектная оценка надежности элементов машин по критериям работоспособности) // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2013. №5(45). С. 62-66.
15. Методология вероятностной оценки элементов машин по различным критериям / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), В.П. Анцупов и др. // Механическое оборудование металлургических заводов: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. Корчунова А.Г. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. С. 29-37.
16. Анцупов А.В. Научные и методологические основы прогнозирования параметрической надежности трибосопряжений на стадии проектирования // Современные методы конструирования и технологии металлургического машиностроения: междунар. сб. науч. тр. / под ред. Н.Н. Огаркова. Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2011. С. 36-39.
17. Прогнозирование надежности трибосопряжений на основе термодинамического анализа процесса трения / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), М.Г. Слободянский и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. №3. С. 54-60.
18. Прогнозирование безотказности трибосопряжений по критерию износостойкости на стадии их проектирования / Анцупов А.В., Анцупов В.П., Анцупов А.В. (мл.) и др. // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2010. №11. С. 38-45.
19. Методология вероятностного прогнозирования безотказности и ресурса трибосопряжений / А.В. Анцупов, А.В. Анцупов (мл.), А.С. Губин и др. // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13, №4(3). С. 947-950.
20. Научные и методологические основы прогнозирования надежности трибосопряжений на стадии их проектирования / А.В. Анцупов, М.В. Чукин, А.В. Анцупов (мл.) и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2011. №4. С. 56-61.
21. Анцупов А.В., Анцупов А.В. (мл.), Анцупов В.П. Методология прогнозирования надежности трибосопряжений // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2012. №2. С.3-9.
22. Анцупов А.В., Анцупов А.В. (мл.), Анцупов В.П. Обеспечение надежности узлов трения машин на стадии проектирования: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. 293 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

FUNDAMENTALS OF PHYSICAL THEORIES RELIABILITY OF MACHINE PARTS ON CRITERIA KINETIC STRENGTH OF MATERIALS

Antsupov Victor Petrovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: antsupov.vp@gmail.com.

Dvornikov Leonid Trofimovitch – D.Sc. (Eng.), Professor, Head of the Theory of Mechanisms and Machine Elements Department, Siberian State Industrial University. Phone: 8(3843)46-57-91. E-mail: tmmiok@yandex.ru

Gromakovskii Dmitry Grigorievich – D.Sc. (Eng.), Professor, Director of Science and Technology center «Reliability technology, energy and transport vehicles», Samara State Technical University. Phone: 8(8463)32-19-31. E-mail: pnms3@mail.ru

Antsupov Alexei Viktorovich – Ph.D. (Eng), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: ants@mgn.ru.

Antsupov Alexander Viktorovich – C Ph.D. (Eng), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519)24-85-19. E-mail: antsupov.alexander@gmail.com.

Abstract. The main principles of the theory of reliability prediction of mechanical systems loaded elements in the stage of design development, underlying the creation of methodology for formulating and solving boundary value problems for project evaluation of reliability and durability criteria for kinetic strength of materials were stated. The example of the implementation methodology for project analysis and justification reconstruction drive rotation of the kiln for clinker production unit, which is integrated in the industrial production of OJSC «MCRP» among OJSC «MMK» group, is shown.

Keywords: theory, basics, kinetic strength, methodology, forecasting, reliability, dependability, durability, failure, damage susceptibility, gamma-percent life.

References

1. Reliability engineering products: practical guidance on standardization, validation and maintenance. Moscow: Publisher standards, 1990. 328 p.
2. Pronikov A.S. *Parametricheskaya nadezhnost mashin* [Machine parametric safety]. Moscow: Publishing House of the MSTU N.E. Bauman, 2002. 560 p.
3. Dvornikov L.T., Turov V.A. Composition and structure properties of reliability. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh* [Physical and technical problems of mining]. 1988. no. 5.
4. Dvornikov L.T., Turov V.A. Features design reliability. *Standartizatsiya i upravlenie kachestvom: Ekspress-informatsiya KirgizNIINTI* [Standardization and quality management: Express Information KirgizNIINTI]. Frunze, 1989. Iss. I.

5. Dvornikov L.T., Turov V.A. Assessing the level of reliability of hydraulic drilling rigs at the design stage. *Fiziko-tehnicheskie problemyi razrabotki poleznyih iskopaemyih* [Physical and technical problems of mining]. 1986, no. 6, pp. 62-67.
6. Bakirov M.B., Gromakovskii D.G., Dynnikov A.V. etc. Diagnosis and assessment of the state of residual life of machines and structures. *Kontrol. Diagnostika* [Control. Diagnostics]. 2004, no. 1, p. 26.
7. Regel V.R., Slutsker A.I., Tomaszewski E.E. *Kineticheskaya priroda prochnosti tverdyih tel* [The kinetic nature of the strength of solids]. Moscow: 1974, 560 p.
8. Fedorov V.V. *Kinetika povrezhdaemosti i razrusheniya tverdyih tel*. [Kinetics of solid damageability and break-down]. Tashkent: Publishing House «Fan» UzSSR, 1985, 165 p.
9. Gromakovskii D.G. Destruction surfaces in friction and wear and development of a kinetic model of wear. *Vestnik mashinostroeniya* [Bulletin of engineering]. 2000, no. 1, p. 3.
10. Gromakovskii D.G., Silaev B.M., Logvinov L.M. Problems of development thermofluctuational models wear surfaces. *Trenie i smazka v mashinah i mehanizmah* [Friction and lubrication in machinery]. 2009, no. 6, pp. 45-48.
11. GOST 20911-89. *Tehnicheskaya diagnostika. Terminy i opredeleniya*. [Technical diagnostics. Terms and definitions]. Moscow: Publisher standards, 1990, 10 p.
12. Antsupov A.V. Methodology of machine elements' reliability prediction by means of various criteria / A.V. Antsupov, A.V. Antsupov (jun.), V.P. Antsupov // *Dependability*, 2013, no. 3(46), pp. 15-23.
13. Antsupov A.V., Antsupov A.V. (Jr.), Antsupov V.P. et al. Evaluation of durability stressed parts on the kinetic strength criterion. *Materialy 70-y nauchno-tehnicheskoy konferentsii: sb. dokl. Magnitogorsk* [Proceedings of the 70th Scientific Conference: Sat Reports]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2012, vol. 1, pp. 137-141.
14. Antsupov A.V., Antsupov A.V. (jun), Antsupov V.P. Designed assessment of machine element reliability due to efficiency criteria. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2013, no. 5(45), pp. 62-66.
15. Antsupov A.V., Antsupov A.V. (Jr.), Antsupov V.P. et al. The methodology of probabilistic assessment of machine elements according to different criteria. *Mehanicheskoe oborudovanie metallurgicheskikh zavodov: mezhregion. sb. nauch. tr. / pod red. Korchunova A.G.* [Mechanical equipment of metallurgical plants. Ed. Korchunov A.G.]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2012, pp. 29-37.
16. Antsupov A.V. The scientific and methodological basis of forecasting reliability triboconjugation parametric design stage. *Sovremennyye melodyi konstruirovaniya i tehnologii metallurgicheskogo mashinostroeniya: mezhdunar. sb. nauch. tr. / pod red. N.N. Ogarkova* [Modern construction methods and technologies metallurgical engineering: Ed. N.N. Ogarkov]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2011, pp. 36-39.
17. Antsupov A.V., Antsupov A.V. (Jr.), Slobodyanskii M.G. et al. Reliability prediction and other friction units based on the thermodynamic analysis of the process of friction. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov]. 2010, no. 3, pp. 54-60.
18. Antsupov A.V., Antsupov V.P., Antsupov A.V. et al. Prediction reliability friction units by the criterion of wear on the stage of their projection-transformation. *Trenie i smazka v mashinah i mehanizmah* [Friction and lubrication in machinery]. 2010, no. 11, pp. 38-45.
19. Antsupov A.V., Antsupov A.V. (Jr.), Gubin A.S. et al. The methodology of probabilistic forecasting reliability and service life of tribological. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Samara Scientific Center of Russian Academy of Sciences]. 2011, vol. 13, no. 4(3), pp. 947-950.
20. Antsupov A.V., Chukin M.V., Antsupov A.V. (Jr.), Antsupov V.P. The scientific and methodological basis of forecasting reliability triboconjugation at the design stage. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2011, no. 4, pp. 56-61.
21. Antsupov A.V., Antsupov A.V. (Jr.), Antsupov V.P. Methodology for predicting the reliability of tribological. *Trenie i smazka v mashinah i mehanizmah* [Friction and lubrication in machinery]. 2012, no. 2, pp. 3-9.
22. Antsupov A.V., Antsupov A.V. (Jr.), Antsupov V.P. *Obespechenie nadezhnosti uzlov treniya mashin na stadii proektirovaniya* [Ensuring the reliability of friction units of machines at the design stage]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2013. 293 p.

От редакции

На «Августовских чтениях» в 2005 году были заложены основы Магнитогорской научной школы теории и практики управления риском в условиях инновационного развития в промышленности. Активное участие в ее формировании и развитии, в разное время, принимали Р.С. Гринберг, д-р экон. наук, проф., член-корр. РАН, директор Института экономики РАН; Б.Н. Порфирьев, д-р экон. наук, проф., член-корр. РАН, зам. директора Института народнохозяйственного прогнозирования РАН; В.С. Балабанов, д-р экон. наук, проф., академик РАЕН, президент Российской академии предпринимательства; Р.Т. Юлдашев, д-р экон. наук, проф., академик РАЕН, зав. каф. управления риском и страхования МГИМО; С.Г. Журавин, д-р экон. наук, академик РАЕН, проф. каф. бухгалтерского учета и экономического анализа МГТУ; А.А. Цыганов, д-р экон. наук, проф., академик РАЕН, зав. каф. страхового дела Финансового университета при Правительстве Российской Федерации; В.Н. Немцев, д-р экон. наук, член-корр. РАЕН, зав. каф. экономики и финансов МГТУ им. Г.И. Носова и другие.

УДК 005.218.1

НОВАЯ ПАРАДИГМА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В УСЛОВИЯХ РЕАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННОЙ СТРАТЕГИИ

Гринберг Р.С.¹, Журавин С.Г.², Немцев В.Н.²¹ Институт экономики РАН, Москва, Россия² Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

Аннотация. Изложено представление авторов об особенностях новой парадигмы научных исследований на основе немарковских процессов и положений теории хаоса, учитывающих нелинейный интегрированный характер инновационной деятельности. Предложена диверсификация инновационного риска по уровням экономики с выделением страховых и не-страховых рисков в рамках интегрированного субъекта инновационной деятельности.

Ключевые слова: парадигма, инновационный риск, немарковские процессы, теория хаоса, субъект инновационной деятельности, диверсификация риска.

Введение

В экономике России важное значение приобрели инновации как эффективный инструмент повышения конкурентоспособности и устойчивого роста, взят курс на модернизацию и инновационную стратегию, сформированы основные компоненты национальной инновационной системы. Исследование основных приоритетов и динамики показателей инновационного развития России позволило выявить недопустимо низкий уровень инновационной активности, снижение интереса предприятий, реального бизнеса к инновационным исследованиям и разработкам, внедрению новых технологий и новых продуктов. Стагнация отечественной инновационной сферы также связана с недостаточным вниманием со стороны государства к продвижению инноваций в реальный сектор экономики, медлительностью и непоследовательностью в проведении институциональных реформ, отсутствием комплексного подхода к применению инструментов косвенного стимулирования, слабой финансовой поддержкой.

Практика инновационной деятельности в России показала недостаточность форм и механизмов государственной поддержки предприятий, реализующих инновационную стратегию. Несмотря на формирование системы долгосрочных технологических приоритетов, создание государственных корпораций как специализированных институтов развития, сложившаяся практика не стимулирует промышленный бизнес к участию в инновационной стратегии роста и мо-

дернизации производства, освоению прорывных направлений, усилению его исследовательского потенциала. Проблема недостаточной координации элементов национальной инновационной системы, особенно в части взаимодействия между государственным и частным секторами, имеет теоретико-методологический характер и затрагивает все отрасли и сектора отечественной экономики.

Наличие комплекса сложных глобальных, мировых, региональных, отраслевых условий и внутренних проблем современных предприятий, реализующих инновационную стратегию, обуславливает обобщение (интеграцию) и трансформацию этих проблем на уровне отдельного предприятия в проблему высокого инновационного риска, объективно предопределяющего снижение инновационной активности, как отдельных предприятий, так и целых отраслей, комплексов, экономики страны в целом. Несмотря на высокую рискованность внедрения технологических новшеств, все еще слабо изученными остаются вопросы управления инновационным риском, не рассматриваются, не систематизируются и не обобщаются вопросы взаимосвязанности и взаимного влияния процессов активизации инновационной деятельности предприятия, как с уровнем инновационного риска, так и с условиями нелинейной внешней и внутренней среды [1, с. 43-48].

Указанное обстоятельство в значительной степени обусловлено не только организационно-практическими

условиями отечественной модернизации, но и недостаточным развитием теории и методологии управления высоким инновационным риском на основе формирующейся новой мировоззренческой парадигмы научных исследований XXI века [2, с. 10-13, 17-20]. На наш взгляд, новые перспективы совершенствования теории и методологии управления инновационной деятельностью открывает творческое применение подхода с позиций немарковских процессов. При этом представляется важным обобщение марковской парадигмы, возможности других известных теорий и концепций, разработанных в XX веке (теории хаоса, теории бифуркаций, нелинейной динамики и некоторых других).

Особенности парадигмы научных исследований на основе марковских и немарковских процессов

В последние столетия ученый мир выработал три основные парадигмы. В XVIII-XIX веках научное мировоззрение основывалось на механицизме, объяснявшем развитие природы и общества законами механической формы движения, которые рассматривались как универсальные и были обусловлены выдающимися достижениями классической механики, создавшей представления о материи, движении, пространстве, времени, причинности. Однако достижения естествознания конца XIX – начала XX века показали ограниченность механицизма, способность объяснять лишь некоторую часть природных явлений, при этом оказалось невозможным описание на его основе электромагнитных, химических, биологических, социальных явлений. В XX веке сформировалась новая общая парадигма, в основе которой лежали выдающиеся достижения в области физики. Новые методы и подходы, базирующиеся на этих достижениях, проникли практически во все естественные науки, в том числе в химию и биологию, широко использовались и в исследованиях в области общественных наук. Наше понимание закономерностей окружающего мира резко расширили достижения в области теории относительности, квантовой механики, теории элементарных частиц, синергетики, имеющие единую теоретическую и методологическую основу – марковские процессы [2, с. 136-137].

Марковский процесс – это случайный процесс $\xi(t)$, отличительное свойство которого заключается в том, что при известном значении $\xi(t_0) = s_0$ случайные величины $\xi(t), t > t_0$ не зависят от значений $\xi(u)$, вычисленных при любых $u \leq t_0$. Таким образом, предполагается, что при известном настоящем будущее не зависит от прошлого. Марковский процесс представляет собой важный специальный вид случайных процессов, параметры которых не зависят от течения процесса в предшествующий период. Теория марковских процессов возникла на основе исследований русского ученого А.А. Маркова (старшего) в области теории вероятностей. Большой вклад в развитие этой теории внесли многие видные ученые, в том числе А.Н. Колмогоров, В.И. Романовский, Ю.А. Розанов,

Дж. Кемени, Дж. Снелл, А.Т. Баруча Рид, Ю.В. Прохоров и другие. Из всех классов случайных процессов марковские процессы наиболее исследованы в теоретическом и прикладном плане [2, с. 137-138].

Для марковского процесса, зная состояние системы в какой-либо момент времени t_0 , можно в принципе определить вероятностную картину поведения системы в будущем. Причем эта картина не меняется при наличии добавочных сведений о событиях при $t < t_0$. Сегодня марковские процессы нашли самое широкое применение в физике, автоматике, экономике, социологии, биологии. Требование марковости является мощным инструментом конкретных исследований и лежит в основе классической и квантовой физики. Однако в настоящее время в существующей марковской парадигме проявляется все больше рассогласований и трудностей вследствие неучета памяти, которая во многих научных дисциплинах, в биологии и социальных явлениях, представляется обязательным элементом. Сегодня для сложных социально-экономических систем установлен целый ряд статистических закономерностей, выполняющихся с высокой степенью точности, природа которых не вполне ясна. Соответственно сегодня центр тяжести научных исследований смещается от физики к биологии и социуму, которые уже не могут адекватно описываться в рамках марковской парадигмы. Сегодня на смену марковской парадигмы приходит новая парадигма, базирующаяся на немарковских процессах или процессах с памятью, описывающих изменение структур.

Немарковская парадигма, несомненно, должна включать, как частный случай, теорию марковских процессов. Если в марковских процессах мерой движения служит энергия, то в немарковских процессах важнейшей дополнительной характеристикой служит негэнтропия как мера упорядочения, сложности структуры исследуемого объекта, явления. Если марковские процессы локальны во времени, то немарковские процессы по своей природе нелокальны во времени (они учитывают добавочные сведения о событиях при $t < t_0$ как память о прошлом). В отличие от марковских процессов, которые описываются дифференциальными уравнениями, немарковские процессы описываются интегрально-дифференциальными уравнениями (при этом интегрирование как обобщение позволяет учитывать прошлое) [2, с. 138-139].

Для марковских процессов равновесное состояние некоторой системы определяется больцмановским распределением случайной величины W по энергии E :

$$W = W^{-E/kT}, \quad (1)$$

где k – постоянная Больцмана; T – температура как существенный равновесный фактор.

В свою очередь, для немарковских процессов равновесное распределение случайной величины W задается соотношением, аналогичным формуле (1) для негэнтропии NH :

$$W = W^{-NH/\theta}, \quad (2)$$

где θ – некоторая условная, «структурная» температура, определяемая объемом памяти системы о прошлом или объемом негэнтропийного (информационного) поля.

При больших значениях θ возникают сложные иерархические структуры в широком диапазоне NH ; при малых θ возникают структуры в малом диапазоне. При $\theta \rightarrow 0$ (отсутствие памяти, информации о прошлом) происходит переход системы к марковским процессам [2, с. 139-141].

При исследовании сложных социально-экономических, биологических и информационных систем был установлен ряд эмпирических закономерностей, подтверждаемых статистическим материалом, среди которых особую значимость имело гиперболическое распределение Парето (80×20). Распределение Парето увязывается с немарковским распределением случайной величины (2), его можно рассматривать как распределение набора структур по степени сложности, как иерархию структур. При этом гиперболическое распределение Парето отличается от стандартного гауссовского распределения резкой асимметрией, характерной концентрацией: сравнительно малое число акторов несет наибольшую нагрузку, остальное число (малопродуктивных) акторов рассматривается как проявление эффекта рассеивания.

Перспективы нового подхода в исследовании инновационной деятельности

Со становлением новой парадигмы на основе немарковского подхода неизбежно произойдет изменение методологических и мировоззренческих аспектов современной теории, что обусловлено необходимостью учета памяти исследуемых социальных систем, широким применением гибридной информации в прогнозировании. Перспективы нового подхода в исследовании проблем развития инновационной деятельности также очевидны. Инновационный риск часто рассматривается как случайное явление без учета его памяти. Однако исследование на основе немарковских процессов позволяет выявить закономерности инновационного риска как особенного явления [2, с. 35-40], что необходимо для организации эффективного управления инновационной деятельностью современных предприятий в условиях нелинейной динамичной среды. В этом отношении целесообразно использовать возможности аппарата теории нечетких множеств для идентификации и оценки рисков [2, с. 141-147, 154-161].

Новые возможности открываются и при творческом применении положений теории хаоса, в развитие которой большой вклад внесли отечественные математики А.Н. Колмогоров и В.И. Арнольд, немецкий математик Ю.К. Мозер. Ряд разработок в развитии теории хаоса принадлежит И.Р. Пригожину. Хаос, чаще всего, определяют как крайнюю непредсказуемость постоянного нелинейного и нерегулярного

сложного движения, возникающую в некоторой динамической системе. Если обратиться к инновационному риску, то согласно теории хаоса необходимо иметь в виду не случайное возникновение или изменение уровня инновационного риска, а некоторое особенным образом упорядоченное его изменение, что и предопределяет их дифференциация на страховые (имеющие закономерный характер) и нестраховые (имеющие случайный характер). Если динамика инновационного риска внешне представляется хаотичной и случайной, то в теории хаоса эта динамика не случайна, хотя так же непредсказуема.

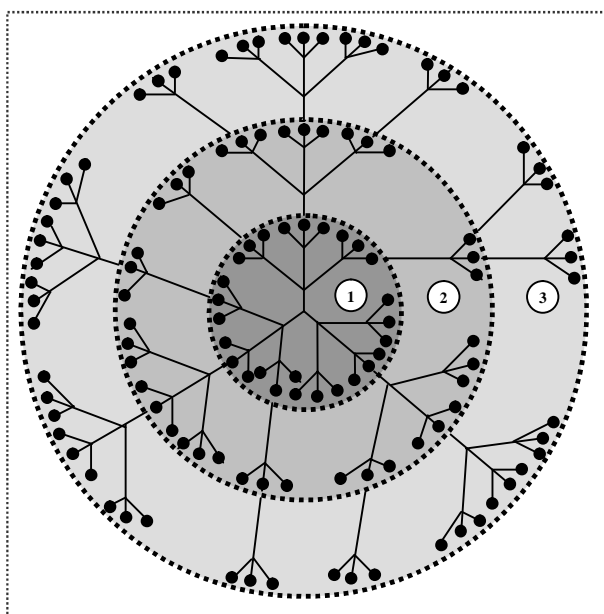
Непредсказуемость хаоса объясняется его существенной зависимостью от начальных условий. Соответственно одно из главных положений теории хаоса сводится к тому, что точно предсказать будущее невозможно, так как всегда будут ошибки измерения, в том числе порождаемые недостаточным знанием всех факторов и условий процесса, явления. Проекция приведенного положения на исследование инновационного риска позволяет сделать достаточно определенный вывод о том, что его проявления могут выглядеть случайными, но имеют некоторый закономерный характер, соответственно необходимо так управлять инновационным риском, чтобы обеспечить уменьшение возможных негативных последствий и увеличение позитивных результатов.

К современным инструментам теории хаоса, прежде всего, относятся аттракторы и фракталы. Инновационный риск как случайное, динамическое явление вполне может быть представлен в виде аттрактора, а инновационный риск как закономерное, статическое явление удобно представить в виде фрактала (см. **рисунок**).

Перспективы идентификации субъекта инновационной деятельности с учетом иерархии рисков

В организационно-методологическом плане наиболее серьезной проблемой инновационного развития российской экономики представляется неопределенность субъекта инновационной деятельности. Для решения этой проблемы предлагается рассматривать субъект инновационной деятельности как триаду: 1) государство; 2) частное предприятие, обеспечивающее внедрение новшеств; 3) страховой бизнес. В этой триаде: 1) государство выступает в качестве исследователя, инициатора и разработчика государственных целевых инновационных программ, а также финансового гаранта покрытия части ущерба в результате реализации некоторых инновационных рисков; 2) предприятие выступает в качестве исследователя, разработчика инновационных проектов, осуществляет внедрение новшеств и практическое использование инноваций; 3) страховой бизнес обеспечивает идентификацию и оценку рисков инновационного проекта, страхование части инновационных рисков в соответствии с действующим законодательством Российской Федерации. Механизм взаимодействия триады «государство – предприятие – страховой бизнес» в качестве субъекта инновационной деятельности должен быть основан на частно-государственном партнерстве,

которое позволяет мобилизовать частные финансовые ресурсы и технологии для решения важнейших народно-хозяйственных задач, в том числе задачи повышения инновационной активности в современных экономических системах.



Пространственно-временной фрактал трехуровневой модели инновационного риска: 1 – макроуровень; 2 – мезоуровень; 3 – микроуровень

Ключевым вопросом эффективности инновационной деятельности в России представляется обеспечение комплексности применяемых мер реагирования, нацеленности законопроектов, формируемых государственных программ, включая стимулирование участия страхового бизнеса в страховании части инновационных рисков, а также предоставление необходимых государственных гарантий частичного покрытия ущерба в случае реализации некоторых инновационных рисков. В связи с этим целесообразно на основе иерархического подхода представить совокупность инновационных рисков с разделением их на три уровня, соответствующие традиционным уровням экономики (см. **рисунок**): 1) макроуровень (включает глобальные и страновые риски); 2) мезоуровень (включает региональные и отраслевые риски); 3) микроуровень (включает внутренние риски конкретного предприятия, реализующего инновационную стратегию). Государственные программы инновационного развития должны быть целевыми и ориентированными на формирование некоторых очагов экономического роста, что предопределяет адресную помощь и поддержку отдельных предприятий и объединений предприятий, их инновационных программ и ключевых инновационных проектов [3, с. 84-86].

Учитывая высокий уровень инновационного риска, предлагается его диверсификация на основе акцентирования государственного регулирования инновационной деятельности на финансовом обеспечении нестраховых рисков макроуровня и мезоуровня в

рамках формирования целевых инновационных программ федерального, регионального и отраслевого уровня. При этом в компетенции страховых компаний-андеррайтеров оказывается другая часть инновационных рисков – страховые риски мезоуровня и микроуровня, а оставшаяся часть инновационных рисков мезоуровня и микроуровня должна управляться предприятием, внедряющим новшества.

Для выделения страховых и нестраховых рисков целесообразно использовать возможности аппарата теории нечетких множеств в целях идентификации и оценки инновационных рисков предприятия в условиях активации инновационной деятельности. Применение указанного подхода для изучения инновационных рисков должно опираться на современное видение экспертов, на новую, немарковскую парадигму научного исследования.

Заключение

Учитывая нелинейный интегрированный характер инновационной деятельности, для ее исследования и совершенствования управления считаем целесообразным применение подхода на основе немарковских процессов с идентификацией и оценкой инновационных рисков в рамках их иерархической дифференциации (макроуровень, мезоуровень, микроуровень), что позволяет с достаточной степенью определенности выделить страховые риски (оцениваемые по методикам частных марковских процессов) и нестраховые риски (оцениваемые по методикам более общих немарковских процессов).

Для решения проблемы формирования эффективного субъекта инновационной деятельности предлагается использовать принцип триады «государство – частное предприятие, обеспечивающее внедрение новшеств – страховая компания». При этом целесообразно следующим образом разделить их функции: 1) государство выступает в качестве исследователя, инициатора и разработчика государственных целевых инновационных программ, а также финансового гаранта покрытия части ущерба в результате реализации некоторых инновационных рисков; 2) частное предприятие выступает в качестве исследователя и разработчика инновационных проектов, осуществляет внедрение новшеств и практическое использование инноваций; 3) страховая компания обеспечивает идентификацию и оценку рисков инновационных проектов, а также страхование части инновационных рисков в соответствии с действующим законодательством Российской Федерации.

Учитывая высокий уровень инновационного риска, для обеспечения эффективной реализации указанных функций предлагается на основе иерархического подхода диверсификация риска его деление на три основных уровня, соответствующие традиционным уровням экономики; 1) макроуровень (включает глобальные и страновые риски); 2) мезоуровень (включает региональные, отраслевые и межотраслевые риски); 3) микроуровень (включает внутренние риски конкретного предприятия, реализующего инновационную стратегию). Государственное регулирование

инновационной деятельности предприятий должно акцентироваться на финансовом обеспечении нестраховых рисков макроуровня и мезоуровня на основе формирования целевых инновационных программ федерального, регионального и отраслевого уровня; в компетенции страховых компаний-андеррайтеров должны находиться страховые риски мезоуровня и макроуровня; оставшаяся часть рисков мезоуровня и микроуровня управляется частным предприятием, внедряющим новшества.

Список литературы

1. Журавин С.Г., Немцев В.Н. Инновационные аспекты стратегических проблем современного предприятия // *Страховое дело*. 2010. №12(215). С. 43-48.
2. Немцев В.Н. Исследование проблем управления риском инновационного предприятия: монография. М.: Анкил, 2011. 178 с.
3. Немцев В.Н. Современные проблемы риск-менеджмента инновационного предприятия // *Актуальные достижения европейской науки: матер. 7-й междунар. науч.-практ. конф. Т.5. Экономика*. София: «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2011. С. 84-93.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE NEW SCIENTIFIC INVESTIGATE PARADIGM UNDER INNOVATORY STRATEGY IMPLEMENTATION

Grinberg Ruslan Semenovich – D.Sc. (Economics), Professor, Member Correspondent of Russian Academy of Science, Director Economics Institute of Russian Academy of Science, Moscow, Russia. E-mail: grinberg@inecon.ru.

Zhuravin Sergey Grigorievich – D.Sc. (Economics), Academic of Russian Academy of Natural Science, Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: zhuravin-serg@yandex.ru.

Nemtsev Viktor Nikolaevich – D.Sc. (Economics), Member Correspondent of Russian Academy of Natural Science, Head of Economics and Finance department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: viktornems@gmail.com.

References

Abstract. Authors perception about the new scientific investigate paradigm peculiarities was offered on basis of non-Markov's models and Chaos theory's positions, taking into consideration non-lined integrated character of innovatory activities. The diversification of innovatory risk had been proposed with partition risks up to the economic spheres and identification risks up to the insurance risks or non-insurance risks, within the framework of integrated innovatory activities subject.

Keywords: paradigm, innovatory risk, non-Markov's models, chaos theory, innovatory activities subject, risk diversification.

1. Zhuravin S.G., Nemtsev V.N. The innovatory aspects of strategic problems on contemporary enterprises. *Strahovoe delo* [Insurance business]. 2010, no. 12(215), pp. 43-48.
2. Nemtsev V.N. *Issledovanie problem upravleniya riskom innovatsionnogo predpriyatiya: monografiya* [Investigate of risk management problems on innovatory enterprises: monography]. Moscow: Ankil, 2011, 178 p.
1. Nemtsev V.N. The contemporary problems of risk management on innovatory enterprises. *Aktualnyye dostizheniya evropeyskoy nauki: mater. 7-y mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [European science actual successes achieved: 7th International science-practice conference's articles. Vol. 5. Economics]. Sophia: «Byal GRAD-BG» OOD, 2011, pp. 84-93.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Андреев Сергей Михайлович – канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой «Автоматизированные системы управления» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел. 8(3519)298527. E-mail: andreev.asc@gmail.com

Анцупов Александр Викторович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: antsupov.alexander@gmail.com.

Анцупов Алексей Викторович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Проектирование и эксплуатация металлургических машин и оборудования» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: ants@mgn.ru.

Анцупов Виктор Петрович – д-р техн. наук, проф. кафедры «Проектирование и эксплуатация металлургических машин и оборудования» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: antsupov.vp@gmail.com.

Ахметов Тимур Уралович – инженер-наладчик ООО НПО «Автоматика», г. Магнитогорск, Россия. Тел. 8(3519)298558. E-mail: pksu035@gmail.com

Беглецов Данил Олегович – ст. преподаватель кафедры физики ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия.

Белов Валерий Константинович – проф. кафедры физики, рук. НИЦ «Микротопография» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8 (3519) 20-92-00. E-mail: belovalkon@mail.ru.

Бигеев Вахит Абдрашитович – д-р техн. наук, проф., директор института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: v.bigeev11@yandex.ru.

Бурмистров Константин Владимирович – канд. техн. наук, доц. кафедры открытой разработки полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел. (3519) 29-85-56. E-mail: burmistrov_kv@mail.ru.

Валиахметов Альфед Хабибуллаевич – ведущий инженер-технолог ЦЛК ОАО «ММК», Россия. Тел.8(3519)24-07-03. E-mail: Valiakhmetov.ak@mmk.ru.

Вассал Жан Пьер – ответственный за международную деятельность механико-машиностроительного факультета Технологического института Университета Жана Моне, Франция. Тел. + 3 (3477) 463428. E-mail: jean.pierre.vassal@univ-st-etienne.fr.

Вдовин Константин Николаевич – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой литейного производства и материаловедения ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8(3519)29-84-19.

Гавришев Сергей Евгеньевич – д-р техн. наук, проф., директор института горных технологий и транспорта, зав. кафедрой открытой разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: (3519) 29-85-75. E-mail: ormpi-cg@mail.ru.

Гитман Михаил Борисович – д-р физ.-мат. наук, проф. кафедры математического моделирования систем и процессов ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Россия. E-mail: gmb@matmod.pstu.ac.ru.

Гладских Владимир Иванович – начальник горно-обогажительного производства ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», Россия. Тел.: (812)24-27-81.

Голубчик Эдуард Михайлович – канд. техн. наук, доц. кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: golub66@mail.ru.

Горбатова Елена Александровна – канд. техн. наук, зав. кафедрой маркшейдерского дела и геологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: (3519) 29-85-42. E-mail: lena_gorbtova@mail.ru.

Гринберг Руслан Семенович – д-р экон. наук, проф., член-корр. РАН, директор Института экономики РАН, Москва, Россия. E-mail: grinberg@ineson.ru.

Громаковский Дмитрий Григорьевич – д-р техн. наук, проф., директор научно-технического (образовательного) центра «Надежность технологических, энергетических и транспортных машин» ФГБОУ ВПО «Самарский государственный технический университет», Россия. E-mail: pnms3@mail.ru.

Губарев Евгений Владимирович – ассистент кафедры физики ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия.

Гун Геннадий Семенович – д-р техн. наук, проф., советник ректора ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: goon@magtu.ru.

Гун Евгений Игоревич – аспирант ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия.

Гун Игорь Геннадьевич – д-р техн. наук, проф. кафедры технологий сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: i-gun@yandex.ru.

Дабала Мануэле – профессор Департамента промышленной инженерии Университета г. Падуа, Италия.

Дворников Леонид Трофимович – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Теория механизмов и машин и основы конструирования» ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», Россия. E-mail: tmmiok@yandex.ru.

Денисов Сергей Владимирович – д-р техн. наук, начальник ЦЛК ОАО «ММК», Россия. E-mail: denisovservl@yandex.ru.

Дзюба Антон Юрьевич – нач. сортовой лаборатории ЦЛК ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», Россия.

Дидович Сергей Владимирович – аспирант кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.8(3519)29-84-49. E-mail: mcm@magtu.ru

Долгий Дмитрий Константинович – аспирант ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия.

Дробный Олег Федорович – канд. техн. наук, начальник лаборатории охраны окружающей среды ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», Россия. Тел.: (812)24-79-83. E-mail: drobny@mmk.ru.

Дья Хенрик – д-р техн. наук, проф., директор Института формоизменения и инженерной безопасности, Ченсто-

ховский технологический университет, Польша. E-mail: duja@wip.pcz.pl.

Дьякова Мария Викторовна – аспирант ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия.

Евдокимов Сергей Алексеевич – канд. техн. наук, доц. кафедры электроники и микроэлектроники ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8 (3519) 29-85-86. E-mail: evdmgtu@yandex.ru.

Ефимова Юлия Юрьевна – канд. техн. наук, доц. кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: jefimova78@mail.ru.

Железков Олег Сергеевич – д-р техн. наук, проф. кафедры «Теоретическая механика и сопротивление материалов» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический Университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел. (3519) 29-85-18.

Журавин Сергей Григорьевич – д-р экон. наук, действ. член РАЕН, проф. ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: zhuravin-serg@yandex.ru.

Зайцев Григорий Сергеевич – аспирант ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», и.о. ведущего инженера ЭСПЦ ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», Россия.

Заяднов Вадим Юрьевич – канд. техн. наук, доц. кафедры открытой разработки полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел. (3519) 29-85-56.

Ивин Юрий Александрович – нач. электросталеплавильной лаборатории ЦЛК ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», Россия.

Йенер Бурак – начальник ЭСПЦ «ММК-Metalurji», Dortyol, Turkey. E-mail: Byener@mmturkey.com.tr.

Кавалек Анна – д-р техн. наук, доц., Ченстоховский технологический университет, Польша. E-mail: kawalek@wip.pcz.pl.

Калмыков Вячеслав Николаевич – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой подземной разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8(3519)29-84-61, 29-84-66. E-mail: prmpri@magtu.ru.

Карандаев Александр Сергеевич – д-р техн. наук, проф., главный научный сотрудник НИС кафедры электротехники и электротехнических систем ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8 (3519) 29-84-16. E-mail: askaran@mail.ru.

Кинзин Дмитрий Иванович – канд. техн. наук, доц. кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники, Россия. Тел.: 8(3519) 298570.

Колокольцев Валерий Михайлович – д-р техн. наук, проф., ректор ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8(3519)29-84-02. E-mail: kwm@magtu.ru.

Кольга Анатолий Дмитриевич – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой горных машин и транспортно-технологических комплексов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8 (3519) 29-85-45. E-mail: kad-55@magtu.ru.

Конопка Збигнев – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Литейное производство» Ченстоховского технологического университета, Польша.

Копцева Наталья Васильевна – д-р техн. наук, проф. кафедры литейного производства и материаловедения ФГБОУ ВПО «Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: korceva1948@mail.ru.

Корнилов Сергей Николаевич – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой промышленного транспорта ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8 (3519) 29-85-34. E-mail: kornilov_s_n@logintra.ru.

Корчунов Алексей Георгиевич – д-р техн. наук, проректор по международной деятельности ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8 (3519) 29-84-09. E-mail: international@magtu.ru.

Кришан Анатолий Леонидович – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой проектирования зданий и строительных конструкций ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет», Россия. E-mail: kris_al@mail.ru.

Кришан Мария Анатольевна – студентка института строительства, архитектуры и искусства ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет», Россия. E-mail: skumanica@mail.ru.

Кульков Игорь Викторович – региональный эксперт Цетра ЮНИДО, Россия.

Кунцын Глеб Александрович – д-р техн. наук, зам. начальника ЛПЦ-3 ОАО «ММК», Россия. E-mail: kuncyn_gleb@mail.ru.

Купцендик Вячеслав Иосифович – канд. техн. наук, доц. кафедры технологий, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: kutsependik@mail.ru.

Ласьков Сергей Алексеевич – директор по охране труда, промышленной безопасности и экологии ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», Россия. Тел.: (812)24-95-81.

Лукьянов Сергей Иванович – д-р техн. наук, проф., директор института энергетики и автоматизированных систем, зав. кафедрой электроники и микроэлектроники ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8 (3519) 22-72-79.

Матушкин Алексей Николаевич – директор завода прецизионных сплавов ОАО «Мотовилихинские заводы», г. Пермь, Россия.

Мезин Игорь Юрьевич – д-р техн. наук, проф., декан факультета стандартизации, химии и биотехнологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: tssa@magtu.ru.

Минаев Александр Анатольевич – д-р техн. наук, проф., ректор Донецкого национального технического университета, член-корреспондент НАН Украины, Украина.

Михайловский Игорь Александрович – д-р техн. наук, проф. кафедры технологий, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: i-mikhailovsky@yandex.ru.

Моллер Александр Борисович – д-р техн. наук, проф. кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8(3519) 298570. E-mail: moller@hotbox.ru.

Назайбеков Абдрахман Батырбекович – академик, д-р техн. наук, проф., ректор Рудненского индустриального института, Казахстан. E-mail: rector@rii.kz.

Немцев Виктор Николаевич – д-р экон. наук, член-корр. РАЕН, зав. кафедрой экономики и финансов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: viktornems@gmail.com.

Нигрис Джованни – Вице-президент Danieli&C, Officine Meccaniche S.p.A., Buttrio (Ud), Italy. Тел.: +39 (0432) 195 81 11. Fax: +39 (0432) 195 82 89.

Никитенко Ольга Александровна – канд. техн. наук, ст. преп. Института металлургии, машиностроения и материаловедения ФГБОУ ВПО «Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова», Россия.

Огарков Николай Николаевич – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Технология машиностроения» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел. (3519) 29-84-69.

Ожогина Елена Германовна – д-р геол.-минер. наук, зав. отделением минералогии ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского», г. Москва, Россия. Тел. (495) 951-74-49. E-mail: vims-ozhogina@mail.ru.

Осипов Дмитрий Сергеевич – канд. техн. наук, доц. кафедры технологий, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: dmitry_osipov@mail.ru.

Парсункин Борис Николаевич – д-р техн. наук, проф. кафедры «Автоматизированные системы управления» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», действительный член АИН им. А.М. Прохорова, Россия. Тел. 8(3519)29-84-32. E-mail: pksu035@gmail.com

Парусов Владимир Васильевич – д-р техн. наук, проф., зав. отделом термической обработки металла для машиностроения Института черной металлургии им. З.И. Некрасова Национальной Академии наук Украины.

Песин Александр Моисеевич – д-р техн. наук, проф. кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8(3519)29-85-25. E-mail: pesin@bk.ru.

Петроченко Елена Васильевна – д-р техн. наук, доц. кафедры литейного производства и материаловедения ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: evr3738@mail.ru.

Петушков Михаил Юрьевич – канд. техн. наук, доц., профессор кафедры электроники и микроэлектроники ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8 (3519) 29-85-86. E-mail: petushkov_m@mail.ru.

Платов Сергей Иосифович – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Машины и технологии обработки давлением» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: (3519) 29-84-92. E-mail: psipsi@mail.ru.

Полецков Павел Петрович – д-р техн. наук, проф. кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8 (3519) 29-85-25. E-mail: pavel_poletskov@mail.ru.

Полякова Марина Андреевна – канд. техн. наук, доц. кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail:

m.polyakova-64@mail.ru.

Потапова Марина Васильевна – канд. техн. наук, доц. кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8(3519)29-85-73. E-mail: mcm@magtu.ru

Пустовойт Константин Семенович – канд. физ.-мат. наук, советник генерального директора ОАО «Мотовилихинские заводы», г. Пермь, Россия. E-mail: forksp@mail.ru.

Пустовойтов Денис Олегович – канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8(3519)29-85-25. E-mail: pustovoytov_den@mail.ru.

Рахмангулов Александр Нельевич – д-р техн. наук, доц. кафедры промышленного транспорта ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8 (3519) 29-85-16. E-mail: ran@logintra.ru.

Рубаник Василий Васильевич – д-р техн. наук, директор ГНУ «Институт технической акустики Национальной академии наук Беларуси», г. Витебск, Беларусь. Тел: (10 375 212) 55-63-89. E-mail: ita@vitebsk.by.

Рубин Геннадий Шмульевич – канд. техн. наук, доц. кафедры технологии, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: rubingsh@gmail.com.

Румянцев Михаил Игоревич – канд. техн. наук, проф. кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8 (3519) 29-85-70. E-mail: mihigrum@mail.ru.

Сабиров Рустам Равильевич – аспирант ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет», Россия. E-mail: sabirov_rustam66@mail.ru.

Савинов Александр Сергеевич – канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой теоретической механики и сопротивления материалов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8 (3519) 29-85-18. E-mail: Savinov_nis@mail.ru.

Салганик Виктор Матвеевич – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8 (3519) 23-20-85. E-mail: omd@magtu.ru.

Сальников Виталий Владимирович – канд. техн. наук, доц. кафедры технологий, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: bestvit@bk.ru.

Сарваров Анвар Сабулханович – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой автоматизированного электропривода и мехатроники ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8 (3519) 22-45-87. E-mail: anvar@magtu.ru.

Сатонин Александр Владимирович – д-р техн. наук, проф. кафедры автоматизированных металлургических машин и оборудования Донбасской государственной машиностроительной академии, Украина.

Сжинский Павел – аспирант, Ченстоховский технологический университет, Польша. E-mail: szyinski@wp.pl.

Синицкий Евгений Валерьевич – канд. техн. наук, доц. кафедры литейного производства и материаловедения ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8 (3519) 29-85-30. E-mail: e-v-s@mail.ru.

Смирнов Алексей Вячеславович – аспирант ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Смирнов Артем Вячеславович – аспирант ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Смирнов Константин Витальевич – д-р техн. наук, начальник лаборатории холодного проката ЦЛК ОАО «ММК», Россия.

Сомнат Басу – ассистент профессора кафедры металлургии и материаловедения Индийского института технологии Бомбея, г. Мумбай. Тел. +912225767613. E-mail: somnathbasu@iitb.ac.in.

Столбов Валерий Юрьевич – д-р техн. наук, проф. кафедры математического моделирования систем и процессов ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Россия. E-mail: svu@matmod.pstu.ac.ru.

Столяров Александр Михайлович – д-р техн. наук, проф. кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел. 8(3519)29-84-49. E-mail: mcm@magtu.ru

Счастливец Вадим Михайлович – д-р техн. наук, проф., академик РАН, научный руководитель отдела материаловедения Института физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: labmet@imp.uran.ru.

Сычков Александр Борисович – д-р техн. наук, проф. кафедры литейного производства и материаловедения ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: absychkov@mail.ru.

Терентьев Дмитрий Вячеславович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Машины и технологии обработки давлением» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел. (3519) 29-84-80. E-mail: ktnterentyev@mail.ru.

Терещенко Наталья Адольфовна – канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории физического материаловедения института физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия.

Томилина Нурия Гумаровна – аспирант кафедры открытой разработки полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: (3519) 29-85-56. E-mail: t.nuria@yandex.ru.

Тулупов Олег Николаевич – д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Эксперт отраслевого отделения ИНЖИНИРИНГ Общественного объединения «Деловая Россия», Президент «МЕТАЛЛУРГМАШ Инжиниринг», Лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники, Россия. E-mail: o.tulupov@mail.ru.

Федосеев Сергей Анатольевич – д-р техн. наук, доц. кафедры математического моделирования систем и процессов ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Россия. E-mail: fsa@gelicon.biz.

Федянин Артем Николаевич – инженер ККЦ ОАО «ММК», Россия. Тел.: 8(3519)24-07-03. E-mail: fedyaninan@inbox.ru.

Храмшин Вадим Рифхатович – канд. техн. наук, доц., профессор кафедры электротехники и электротехнических систем ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8 (3519) 29-84-16. E-mail: hvr_mgn@mail.ru.

Черчинцев Вячеслав Дмитриевич – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Промышленная экология и безопасность жизнедеятельности» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: (812)29-85-15. E-mail: eco_safe@magtu.ru.

Чикишев Денис Николаевич – канд. техн. наук, доц. кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 29-85-25. E-mail: chikishev_denis@mail.ru.

Чукин Дмитрий Михайлович – аспирант ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия.

Чукин Михаил Витальевич – д-р техн. наук, проф., первый проректор-проректор по научной и инновационной работе ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: m.chukin@mail.ru.

Чуруканов Александр Сергеевич – аспирант кафедры автоматизированных металлургических машин и оборудования Донбасской государственной машиностроительной академии, Украина. E-mail: amm@dgma.donetsk.ua.

Яковлева Ирина Леонидовна – д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физического материаловедения, Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия. E-mail: labmet@imp.uran.ru.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Мы приглашаем Вас к участию в нашем журнале в качестве авторов, рекламодателей и читателей. Журнал формируется по разделам, отражающим основные направления научной деятельности ученых МГТУ, в частности:

- **РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.**
- **МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ.**
- **ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ.**
- **ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО**
- **ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ.**
- **МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ.**
- **СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ.**
- **МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.**
- **НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ.**
- **ЭНЕРГЕТИКА МЕТАЛЛУРГИИ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ.**
- **УПРАВЛЕНИЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ.**
- **СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ.**
- **ЭКОЛОГИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ.**
- **ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И РЫНОК ПРОДУКЦИИ.**
- **СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ, ПОДГОТОВКА И ОБУЧЕНИЕ СПЕЦИАЛИСТОВ.**
- **ИНФОРМАЦИЯ и др.**

ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ, ПРИНИМАЕМЫМ К ПУБЛИКАЦИИ

1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СТАТЬИ (на русском и английском языках)

- 1.1. Наименование** статьи (не более 15 слов). Должно кратко отражать содержание статьи. Не рекомендуется использовать сокращения и аббревиатуры.
- 1.2. Аффiliation.** Указывается фамилия, имя, отчество авторов (транслитерация), ученая степень, звание, должность, полное название организации (ее официально принятый английский вариант), адрес электронной почты хотя бы одного из авторов.
- 1.3. Аннотация** (100-250 слов). Включает гипотезу, цель, эксперименты и методы, основные результаты, применение результатов исследования в промышленности (излагается в прошедшем времени).

Онлайн-перевод запрещается!

- 1.4. Ключевые слова:** от 5 до 15 основных терминов.

2. СТРУКТУРА ОСНОВНОЙ ЧАСТИ СТАТЬИ

- 2.1. Введение** (постановка проблемы)
- 2.2. Теория, материалы и методы исследования, технические и технологические разработки**
- 2.3. Результаты исследования и их обсуждение**
- 2.4. Заключение** (выводы)
- 2.5. Список литературы** (на русском и английском языках)

3. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

- 3.1. Рекомендуемый объем статьи – 6-8 стр.
- 3.2. Текст статьи, сведения об авторах, аннотация ключевые слова и список литературы представляются на электронном носителе в виде файла, созданного средствами **Microsoft Word**, и распечаткой на стандартных листах бумаги формата А4.

При наборе статьи в **Microsoft Word** рекомендуются следующие установки:

- **шрифт** – **Times New Roman**, размер – 14 пт, межстрочный интервал – одинарный, перенос слов – автоматический;
- при вставке **формул** использовать встроенный редактор формул **Microsoft Equation** со стандартными установками, применяется только сквозная нумерация;
- **рисунки и фотографии**, вставленные в документ, должны быть четко выполнены, допускать перемещение в тексте и возможность изменения размеров (толщины линий и размеры обозначений должны обеспечивать четкость при уменьшении рисунка до рациональных размеров), в форматах *.TIF, *.JPG, с разрешением **не менее 300 dpi**, B&W – для черно-белых иллюстраций, Grayscale – для полутонов. Максимальный размер рисунка с подписью – 150×235 мм. В тексте статьи должны быть подрисовочные подписи в местах размещения рисунков. Например:
- **таблицы** нумеруются, если их число более одной. Заголовков необходим, когда таблица имеет самостоятельное значение, без заголовка дают таблицы вспомогательного характера.

Рис. 4. Расчётная зависимость $\gamma(t) = I_n / I_{n0}$ от времени и удалённости КЗ от выводов асинхронного двигателя

- 3.3. При подготовке рукописи необходимо руководствоваться Международной системой единиц **СИ**.

4. ДОКУМЕНТЫ, ПРИЛАГАЕМЫЕ К СТАТЬЕ

- 4.1. Рецензия.**
- 4.2. Экспертное заключение** о возможности опубликования.
- 4.3. Договор.**

Внимание! Публикация статей является бесплатной. Преимущество опубликования предоставляется авторам и учреждениям, оформившим подписку на журнал.

Статьи проходят обязательное научное рецензирование.

Редакция оставляет за собой право отклонять статьи, не отвечающие указанным требованиям.

По вопросам публикации статей обращаться: 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. Магнитогорский государственный технический университет, Редколлегия журнала «Вестник МГТУ» М.В. Чукину.

Телефоны: (3519) 29-85-26, 22-14-93.

E-mail: rio_mgtu@mail.ru; vestnik@magtu.ru (с указанием темы сообщения «Вестник МГТУ»).