

ВЕСТНИК

Магнитогорского государственного
технического университета им. Г. И. Носова

№ 4 (40) декабрь 2012 г.

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, а также входит в базы данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) и ВИНТИ. 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. Рашиков – Президент ООО «Управляющая
компания ММК», проф., д-р техн. наук;
В.М. Счастливец – зав. лабораторией
ИФМ УрО РАН; академик РАН,
д-р техн. наук;
И. Горлач – д-р наук в области машиностроения;
Руководитель отделения мехатроники
университета им. Нельсона Манделы
(Южная Африка);
Кен-Ихиро Мори – профессор Технологического
университета г. Тойохаси, Япония;
Хенрик Дыя – проф., д-р техн. наук,
директор Института Обработки Металлов
Давлением и Инженерии Безопасности, Польша.

Редакционная коллегия:

Главный редактор:

Г.С. Гун – проф., д-р техн. наук.

Заместитель:

М.В. Чукин – проф., д-р техн. наук
(отв. редактор).

Члены редколлегии:

Л.И. Антропова – проф., д-р фил. наук;
В.А. Бигеев – проф., д-р техн. наук;
К.Н. Вдовин – проф., д-р техн. наук;
С.Е. Гавришев – проф., д-р техн. наук;
В.Н. Калмыков – проф., д-р техн. наук;
С.Н. Павлов – доц., канд. пед. наук;
М.Б. Пермяков – доц., канд. техн. наук;
А.М. Песин – проф., д-р техн. наук;
В.М. Салганик – проф., д-р техн. наук;
А.С. Сарваров – проф., д-р техн. наук.
А.Б. Сычков – проф., д-р техн. наук.

**Ответственные редакторы по научным
направлениям экспертных советов ВАК РФ:**

М.А. Полякова – доц., канд. техн. наук;
М.В. Шубина – доц., канд. техн. наук.

© ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2012

На журнал можно подписаться в отделениях связи либо приобрести непосредственно в редакции.
Подписной индекс издания 48603 в объединенном каталоге «Пресса России», том 1.

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

Номер журнала издан при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение №14.В37.21.0068.

Адрес редакции:

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38
Тел.: (3519) 22-14-93
Факс (3519) 23-57-60
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.

Подписано к печати 17.12.2012.

Заказ 770. Тираж 500 экз. Цена свободная.



VESTNIK

**Magnitogorsk State Technical
University named after G. I. Nosov**

№ 4 (40) December 2012

The magazine is included in the list of leading reviewed scientific journals and publications, in which shall be published by the basic scientific results of dissertations on competition of a scientific degree of the doctor and candidate of sciences, as well as in the database Russian index of scientific citation (RISC) and All-Russian Institution of Scientific and Technical information. Internet versions of the journal can be found on the Scientific Electronic Library site in the Internet.

PUBLISHED SINCE MARCH, 2003

Editorial committee

Chairman of editorial committee:

V.M. Kolokoltsev – rector of FSBEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov», D. Sc

Members of the editorial committee:

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

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

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

V.M. Schastlivtsev – chief of laboratory in Russian Academy of Science, academician of Russian Academy of Science, D. Sc.

I. Gorlach – PhD in Mechanical Engineering, Head of Department of Mechatronics, Nelson Mandela Metropolitan University.

Ken-ichiro Mori – Professor Department of Production Systems Engineering, Toyohashi University of Technology, Japan.

Henrik Dyja – prof. Dr. techn. Science, Director of the Institute of Metal Forming and Engineering Security, Poland.

Editorial staff

Editor-in-chief:

G.S. Gun – Prof., D. Sc.

Deputy chief editor:

M.V. Chukin – Prof., D.Sc.

Members of the editorial staff:

L.I. Antropova – Prof., D.Sc.

V.A. Bigeev – Prof., D.Sc.

K.N. Vdovin – Prof., D.Sc.

S.E. Gavrishev – Prof., D.Sc.

V.N. Kalmykov – Prof., D.Sc.

S.N. Pavlov – Assoc. Prof., Ph.D.

M.B. Permyakov – Assoc. Prof., Ph.D.

A.M. Pesin – Prof., D.Sc.

V.M. Salganik – Prof., D.Sc.

A.S. Sarvarov – Prof., D.Sc.

A. B. Sychkov – Prof., D. Sc.

Executive editors in scientific fields of advisory committee of Higher Certifying Commission in the Russian Federation:

M.A. Polyakova – Assoc. Prof., Ph.D.

M.V. Shubina – Assoc. Prof., Ph.D.

© Federal state budgetary institution of higher professional education
“Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov”, 2012

One can subscribe for the journal in the general publication catalogue of scientific-technical information, the subscription index of the journal 73849, or get the journal right in the editorial office.

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 «Magnitogorsk State Technical University. GI Nosov» (455000, Chelyabinsk Region., Magnitogorsk, Lenin Avenue, 38)

Magazine published by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation № 14.V37.21.0068 agreement.

Editorship address:

455000, city Magnitogorsk, Lenin Str. 38

Phone number: (3519) 22-14-93

Fax: (3519)23-57-60

Email: rio_mgtu@mail.ru; vestnik@magtu.ru

Published by publishing center of MSTU
named after G.I. Nosov.

Signed for press 2012.17.12.

Order 770. Circulation – 500 items. Free price.



СОДЕРЖАНИЕ

Разработка полезных ископаемых	5	Крутикова И.А., Панфилова Л.М., Смирнов Л.А. Фрактографическое исследование изломов сталей, микролегированных ванадием и азотом	54
Гавришев С.Е., Бурмистров К.В., Томилина Н.Г. Обоснование факторов, обуславливающих применение крутонаклонных подъемников при комбинированном способе разработки месторождений	5	Наноматериалы и нанотехнологии	61
Монтянова А.Н., Кириллов Д.С., Штауб И.В., Бильдушкинов Е.В. Специфические особенности закладочных работ на руднике «Мир» алмазодобывающей АК «Алроса»	10	Чукин М.В., Корчунов А.Г., Голубчик Э.М., Полякова М.А., Гулин А.Е. Анализ метода непрерывного деформационного наноструктурирования проволоки с использованием концепции технологического наследования	61
Технологии переработки и утилизации техногенных образований и отходов	15	Моделирование металлургических процессов	66
Катренов Б.Б., Селиванов Е.Н., Жумаев К.Ж. Исследование влияния медного купороса на степень десульфуризации окатышей из медного концентрата в ходе паровоздушного обжига	15	Рубин Г.Ш., Шишов А.А., Чукин М.В., Гун Г.С. Клеточно-автоматные модели и перспективы их использования для моделирования процессов ОМД	66
Металлургия черных, цветных и редких металлов	19	Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Обухова Т.Г., Галдин М.С., Ахметов Т.У. Адаптивные статистические модели, синтезированные на основе ИНС	68
Каримова Л.М. Получение вероятностной модели динамической прочности окатышей черногого медного концентрата из забалансовой руды	19	Барышников М.П., Чукин М.В., Бойко А.Б. Анализ программных комплексов для расчета напряженно- деформированного состояния композиционных материалов в процессах обработки давлением	72
Журавлева Е.Н., Дроздова Т.Н., Пономарева С.В., Кирик С.Д. Миграция железа с поверхности анода при электролизе алюминия	22	Надежность и долговечность металлургического оборудования	75
Ченгелия Р.К., Чевская О.Н., Зинько Б.Ф., Косырев К.Л. Регулирование структуры стали на основе ингибиторного эффекта формирования дисперсных неметаллических фаз оптимальной морфологии	26	Султаналиев Б.С., Жусупбеков Б.Т. Влияние упругих свойств гидросистемы на вибрацию и выходные показатели молотка	75
Литейное производство	30	Энергетика и теплоэнергетика металлургической отрасли	78
Сушко Т.И., Щербаков А.С., Пашина Т.В., Руднева И.Г. Анализ вариантов литниково-питающих систем при литье в кокиль посредством СКМ LVMFlow	30	Малафеев А.В., Кочкина А.В., Панова Е.А. Оптимальное распределение мощностей между генераторами электростанций промышленного предприятия при длительном пофазном ремонте оборудования питающих сетей	78
Обработка металлов давлением	33	Казанцев А.Г., Феклистов С.И., Жуков Р.Ю. Оценка напряженного состояния в теплообменных трубках парогенераторов в зонах образования питтингов	81
Чукин М.В., Рааб А.Г., Семенов В.И., Асланян И.Р. Рааб Г.И. Применение полного факторного эксперимента в процессе волочения со сдвигом	33	Экономика, управление и рынок продукции	86
Телегин В.Е., Голубчик Э.М., Смирнов П.Н., Курбан В.В., Денисов С.В. Применение принципов технологической адаптации при изготовлении холоднокатаной ленты для монетной заготовки	38	Поликарпова М.Г. Оценка стоимости бизнеса в интеграционных сделках металлургической компании	86
Румянцев М.И., Шубин И.Г., Попов А.О., Шурыгин В.И. Особенности автоматизированного проектирования режимов прокатки на ШСГП при решении задачи обеспечения стабильности контрольных параметров процесса и полосы	42	Калимуллин Е.А., Акшенцев Ф.И., Макарова В.А., Трильев А.Е. Совершенствование системы оплаты труда проходчиков на Сибайском подземном руднике	91
Мошкунев В.В., Столяров А.М. Влияние мягкого обжата на макроструктуру слабого непрерывнолитой заготовки из трубной стали	45	Кольга А.А. Рынок глянцевого издания Екатеринбурга: специфика спроса и новые направления позиционирования	93
Харитонов В.А., Лаптева Т.А. Расчет распределения деформаций по сечению пряжи при круговом обжате	47	Право и правоведение	96
Материаловедение и термическая обработка металлов	52	Мещерякова Т.Р. Применение трудового законодательства к регулированию отношений государственной гражданской службы	96
Усков И.В., Беляев С.В., Аникина В.И., Аникин А.И., Усков Д.И. Создание среднетемпературных припойных сплавов, не содержащих кадмий	52	Субботина Е.В. Способы защиты от злоупотребления свободой слова в сети интернет	99
		Научные школы	104
		Филатов В.В. История функционирования научных школ в сфере прокатного производства в МГТУ им. Г.И. Носова в 1940-х – начале 2000-х годов	104
		Сведения об авторах	108

CONTENT

Mining	5	Nanomaterials and Nanotechnology	61
<i>Gavrishev S.E., Burmistrov K.V., Tomilina N.G.</i> Factors justification for utilizing steeply inclined lift at combined mining method	5	<i>Chukin M.V., Korchunov A.G., Golubchik E.M., Polyakova M.A., Gulin A.E.</i> Analysis of method of continuous deformation nanostructuring wire with the use a concept technological inheritance	61
<i>Montyanova A.N., Kirillov D.S., Shtaub I.V., Bil'dushkinov Ye.V.</i> Specifics of stowing operations in the «Mir» underground mine of OJSC «Alrosa»	10	Modeling of Metallurgical Processes	66
Processing and Utilization Technologies of Formations and Wastes	15	<i>Rubin G.Sh., Shishov A.A., Chukin M.V., Gun G.S.</i> Cellular automaton modeli band perspectives of use their for modeling metal forming processes	66
<i>Katrenov B.B., Zhumashev K. Zh., Selivanov E.N.</i> Study of the affect of copper vitriol on the degree of desulphurization of copper concentrate granules during steam-air roasting	15	<i>Parsunkin B.N., Andreev S.M., Obukhova T.G., Galdin M.S., Ahmetov T.U.</i> The adaptive statistical models, synthesized on the basis of the neural networks	68
Metallurgy of Ferrous, Non-Ferrous and Rare Metals	19	<i>Baryshnikov M.P., Chukin M.V., Boyko A.B.</i> Analysis software packages for calculating the stress-strain state of composite materials in the processing pressure	72
<i>Karimova L.M.</i> The receipt of probabilistic model of dynamic strength of the pellets of the quick-and-dirty copper concentrate from off-balance ore	19	Safety and Durability of Metallurgical Equipment	75
<i>Zhuravleva E.N., Drozdova T.N., Ponomareva S.V., Kirik S.D.</i> Migration of iron from the surface of the anode in the electrolysis of aluminum	22	<i>Sultanaliyev B.S., Zhusupbekov B.T.</i> Influence of elastic properties of hydrosystem on vibration and for the weekend hammer indicators	75
<i>Chengeliya R.K., Chevskaya O.N., Zinko B.F., Kossyrev K.L.</i> Steel structure control based on inhibitory effect of dispersed non-metal phased generation with optimal morphology	26	Power Supply and Heat Power of Metallurgy	78
Foundry Engineering	30	<i>Malapheev A.V., Kochkina A.V., Panova E.A.</i> Industrial power plant generators load optimization in terms of power grid high-voltage equipment continuous single-phase scheduled outage.....	78
<i>Sushko T.I., Sherbakov A.S., Pashneva T.V., Rudneva I.G.</i> An analysis of options runner- supply systems for casting a chill through the SKM LVM Flow.....	30	<i>Kazantsev A.G., Zhukov R.Y., Feklistov S.I.</i> Evaluation stresses in heat exchange tubes of steam generators in areas pitting	81
Pressure Treatment of Metals	33	Economics, Management and Production Market	86
<i>Chukin M.V., Raab A.G., Semenov V.I., Aslanyan I.R., Raab G.I.</i> Applica-tion of the complete factor experiment in shear drawing process.....	33	<i>Polikarpova M.G.</i> Evaluation of business cost in mergers and acquisitions in metallurgy	86
<i>Telegin V.E., Golubchik E.M., Smirnov P.N., Denisov S.V., Kurban V.V.</i> Application of principles of technological adaptation with the production of cold-rolled tape for the monetary billet	38	<i>Kalimullin EA, Akshentsev FI, Makarova VA, Trilyev A.E.</i> Improving the system of wage sinkers in the underground mine of Sibay.....	91
<i>Rumyantsev M.I., Shubin I.G., Popov A.O., Shurygin V.I.</i> Specifics of wide strip mill hot rolling technology computer aided design in maintaining the stability of production process and product validators.....	42	<i>Kolga A.A.</i> Glossy magazines market of Yekaterinburg: the specificity of demand and new directions in self-positioning	93
<i>Moshkunov V.V., Stolyarov A.M.</i> Influence of soft reduction on a macrostructure continu-ously cast slab from tube steel.....	45	Law and Jurisprudence	96
<i>Haritonov V.A., Lapteva T.A.</i> A calculate of deformation around the strands procession radial squeezes.....	47	<i>Meshcheryakova T.R.</i> Using of labour legislation in regulation of state civil service relations.....	96
Material Science and Thermal Metal Treatment	52	<i>Subbotina E.V.</i> Defense methods of speech freedom abuse in the Internet.....	99
<i>Uskov I.V., Belyaev S.V., Anikina V.I., Anikin A.I., Uskov D.I.</i> Creation of medium temperature solder alloys that do not contain cadmium	52	Schools of Sciences	104
<i>Krutikova I.A., Panfilova L.M., Smirnov L.A.</i> Fractographic research of microal-loyed by vanadium and nitrogen steel fractures.....	54	<i>Filatov V.V.</i> History of scientific schools functioning in rolling history in the MSTU named after G.I. Nosov in 1940-s – early 2000-s	104
		The information about the authors	111

РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.271.323:622.67

Гавришев С.Е., Бурмистров К.В., Томила Н. Г.

ОБОСНОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ОБУСЛОВЛИВАЮЩИХ ПРИМЕНЕНИЕ КРУТОНАКЛОННЫХ ПОДЪЕМНИКОВ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ СПОСОБЕ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В статье освещена актуальная проблема выбора технологических схем транспортирования горной массы при комбинированном открыто-подземном способе разработки месторождений. Авторами рассмотрены пять базовых технологических схем с применением крутонаклонных подъемников, определены факторы, устанавливающие целесообразность применения подъемников, определены параметры и показатели применения технологических схем.

Ключевые слова: комбинированный открыто-подземный способ разработки, факторы, технологические схемы, конвейерный подъемник, скиповой подъемник.

In this article considers the problem of choosing the actual technological schemes of transportation of rock in the combined open-underground mining method. The authors examined five basic technological schemes of using steeply lifts equipment, the factors determining the feasibility of the lifts, the parameters and indicators of technological schemes.

Keywords: combined open-underground mining method, factors, technological schemes, conveyor, skip.

Комбинированный способ разработки месторождений может осуществляться при различном взаимодействии транспорта открытого и подземного рудников. Существуют классификации способов разработки законтурных запасов, в которых приводятся направления использования карьерного пространства и технологических элементов открытых горных работ [1]. Они включают в себя использование карьерного пространства для проведения главных или вспомогательных вскрывающих подземных выработок, размещение пунктов перегрузки и объектов рудоподготовки, использование карьерного оборудования и карьерных транспортных коммуникаций.

Переходу на комбинированный открыто-подземный способ доработки месторождения предшествует тщательный анализ транспортной системы карьера с целью изучения возможности ее эксплуатации подземным рудником.

Строительство подземного рудника осуществляется в течение длительного времени и требует существенных капиталовложений. Очевидно, что несоответствие срока ввода в эксплуатацию подземного рудника режиму горных работ в карьере может привести к снижению объемов добычи руды и, как следствие, к ухудшению общих технико-экономических показателей предприятия. С целью интенсификации процесса строительства подземного рудника для отработки законтурных запасов месторождения главные вскрывающие выработки могут быть пройдены из карьера. Это позволит сократить срок сдачи в эксплуатацию подземного рудника и обеспечить постоянный уровень добычи руды в требуемых объемах. Транспортирование горной массы из подземного рудника по карьерным транспортным коммуникациям может осуществляться на первых этапах существования под-

земного рудника, т.е. до ввода в эксплуатацию главных рудовыдачных стволов, или в течение всего срока доработки месторождения. Транспортная система карьера должна быть адаптирована к данным условиям.

В связи с этим актуальной является задача проектирования такой транспортной схемы, которая могла бы эффективно эксплуатироваться в течение нескольких этапов существования горного предприятия, включая завершающие этапы. Рациональная транспортная схема, принятая при реконструкции предприятия в определенный период его эксплуатации при отработке месторождения открытым способом могла бы не только повысить технико-экономические показатели открытых горных работ, но и эффективно использоваться при дальнейшей доработке месторождения подземным способом.

Целесообразность применения крутонаклонных подъемников на стадии доработки карьера при комбинированной разработке месторождения доказана исследованиями [2]. В то же время в данных исследованиях рассматривался только один тип технологической схемы с размещением крутонаклонного подъемника на борту карьера и транспортированием по нему грузов с открытого и подземного рудников. При этом не рассматривались возможные варианты эксплуатации и взаимодействия подъемников в открытых и подземных выработках.

Для повышения эффективности комплексной механизации крутонаклонные подъемники при разработке месторождений комбинированным способом могут эксплуатироваться в различных сочетаниях, располагаясь в открытых и подземных горных выработках с соответствующим перераспределением грузопотоков, поступающих из забоев в карьере и подземном руднике.

В ходе исследований нами выделены пять базовых технологических схем применения подъемников при комбинированной разработке месторождения.

Технологическая схема 1. Крутонаклонные конвейерные подъемники (КНК) располагаются на борту карьера (рис. 1). Данная схема применяется при разработке мощных горизонтальных, наклонных и крутопадающих месторождений, преимущественно в карьерах, имеющих большую производственную мощность.

На этапе открытой разработки месторождения горная масса из карьера транспортируется по крутонаклонным конвейерным подъемникам. При дальнейшей доработке месторождения подземным способом подъемники используются для подъема горной массы на поверхность через карьерное пространство. При небольших объемах вскрышных пород возможно применение одного КНК. Правильно подобранные параметры буровзрывных работ, обеспечивающие минимальный выход негабаритных кусков, позволяют применять перегрузочный бункер вместо дробильно-перегрузочного пункта. В этом случае предусматривается грохот и питатель. Подгрохотный продукт через питатель подается на конвейер, надгрохотный – может либо складироваться и периодически вывозиться на поверхность одним самосвалом, либо раздробливаться бутобоем на площадке перегрузочного бункера.

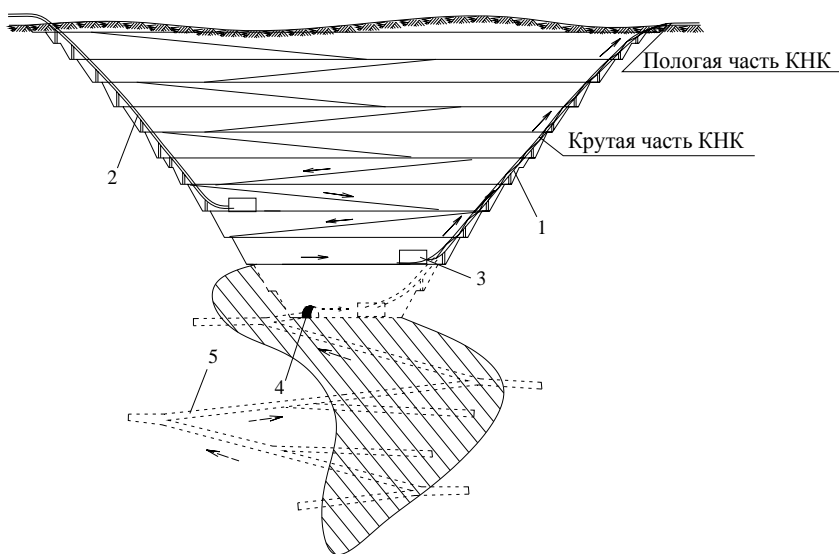


Рис. 1. Технологическая схема с размещением КНК в карьере:
 1 – КНК для транспортирования руды; 2 – КНК для транспортирования вскрышных пород; 3 – перегрузочный бункер (дробильно-перегрузочный пункт); 4 – портал наклонного съезда; 5 – наклонный съезд

Технологическая схема 2. Скиповые подъемники расположены на борту карьера (рис. 2). Схема применяется при разработке наклонных и крутопадающих месторождений при глубине карьера 100-120 м и более в основном при ограниченных размерах их в плане.

Благодаря высокой производительности скипы отвечают условиям применения их в крупных карьерах. Данная схема позволяет избежать процесса дроб-

ления крупных кусков породы в карьере.

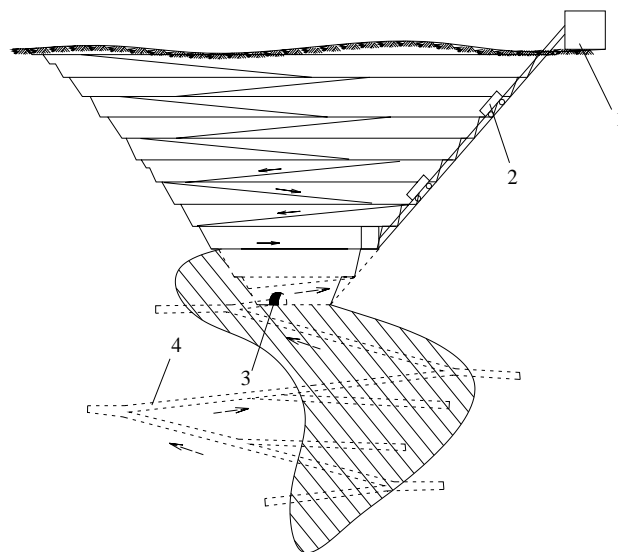


Рис. 2. Технологическая схема с размещением скипового подъема в карьере:
 1 – приемный бункер (дробильно-перегрузочный пункт); 2 – скип; 3 – портал наклонного съезда; 4 – наклонный съезд

Возможность преодолевать скипами крутые уклоны позволяет наиболее экономично использовать их в карьерах с крепкими скальными породами и рудами, допускающими крутые устойчивые откосы бортов. Аналогично первой схеме руда из подземного рудника может транспортироваться скиповым подъемом по борту карьера.

Технологическая схема 3. Конвейерные подъемники размещены в подземных выработках и транспортируют горную массу из карьера и впоследствии из подземных горных выработок (рис. 3). Данная схема применяется в следующих случаях:

- при неустойчивых бортах карьера, склонных к оползанию;
- при необходимости разрабатывать одновременно все борта карьера;
- при отсутствии удобного места для размещения поверхностного подъемника, т.е. по планировочным соображениям [3];
- при опасении повреждений

при массовых взрывах и т.д. [4].

В данной технологической схеме может применяться один КНК для транспортирования пород на поверхность, либо два и более подъемников для селективной доставки руды и вскрышных пород.

Технологическая схема 4. Конвейерные и скиповые подъемники размещены в подземных вертикальных и горизонтальных выработках (рис. 4).

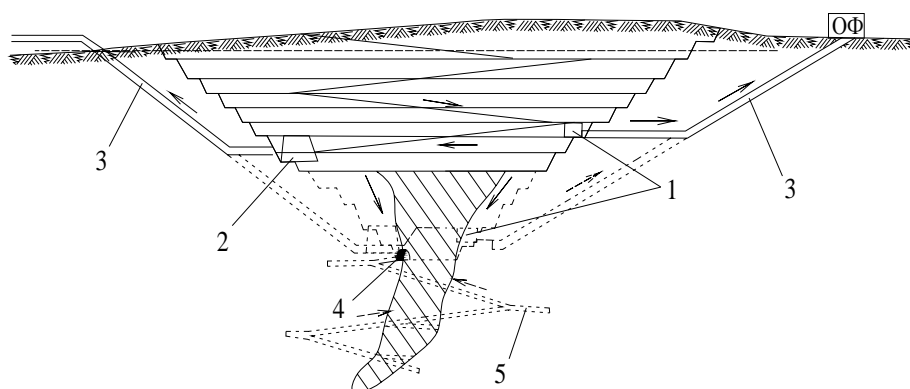


Рис. 3. Технологическая схема расположения КНК в подземных наклонных выработках, пройденных из карьера: 1 – дробильно-перегрузочный пункт полезного ископаемого; 2 – дробильно-перегрузочный пункт вскрышных пород; 3 – конвейер, расположенный в подземной выработке; 4 – портал наклонного съезда, пройденного со дна карьера; 5 – наклонный съезд

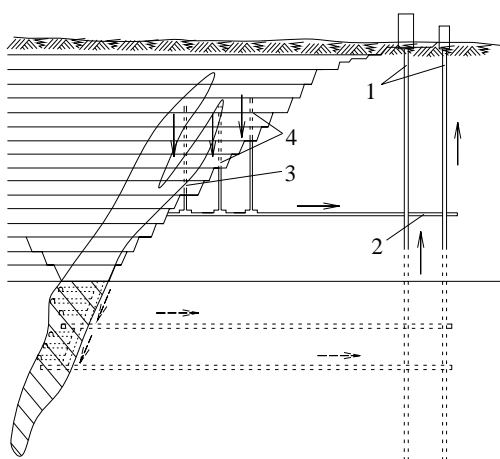


Рис. 4. Технологическая схема размещения скиповых и конвейерных подъемников в горизонтальных и вертикальных подземных выработках: 1 – вертикальные скиповые подъемники; 2 – вскрышной и рудный сборочный конвейеры, расположенные в штольне; 3 – рудоспуск; 4 – породоспуск

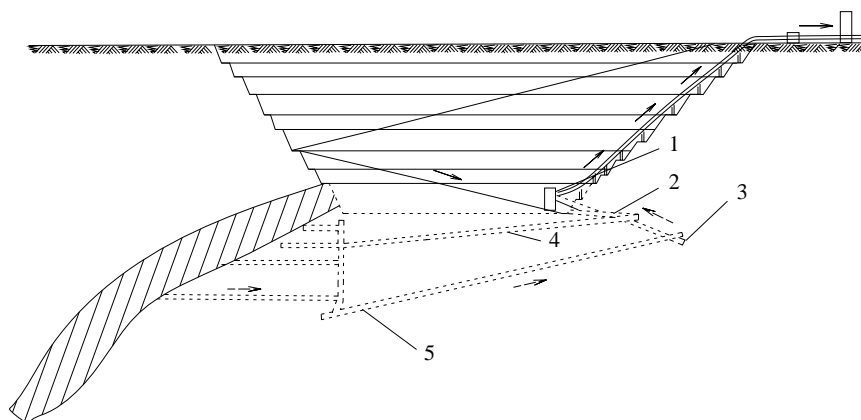


Рис. 5. Технологическая схема с размещением КНК в открытых и подземных горных выработках: 1 – перегрузочный бункер; 2 – портал наклонного съезда; 3 – перегрузочная станция; 4 – наклонный съезд; 5 – конвейер

Подземные выработки являются связующим звеном между различными видами транспорта, работающим в комбинации. В бортах карьера проходятся рудоспуски, в которые карьерные автосамосвалы выгружают горную массу, транспортируемую впоследствии подземным транспортом.

Технологическая схема 5. Конвейерные подъемники размещены на борту карьера и в подземной выработке (рис. 5).

Подъемник, располагаемый в наклонном стволе 5, может использоваться в период строительства рудовыдачного ствола для транспортирования руды из подземных выработок, либо весь период доработки месторождения.

На выбор той или иной технологической схемы оказывают влияние горнотехнические, горно-геологические и экономические факторы эксплуатации открытого и подземного рудников. Анализ литературных источников и опыта комбинированной разработки месторождений полезных ископаемых позволил систематизировать данные факторы (рис. 6) [5-7]. Представленная схема позволяет сделать вывод, что большинство факторов являются одинаковыми как для открытых, так и для подземных горных работ. Некоторые факторы характеризуются специфическими условиями, присущими каждому из способов разработки.



Рис. 6. Факторы, определяющие возможность и целесообразность применения подъемников при открытых и подземных горных работах

Для выявления практического значения представленных выше факторов и технологических схем определен диапазон параметров и показателей их применения (см. таблицу) [8-10].

Таким образом, по результатам выполненных исследований систематизированы основные факторы,

определяющие возможность и целесообразность применения подъемников, выделены пять базовых технологических схем использования крутонаклонных подъемников при комбинированной разработке месторождений, определен диапазон применения данных технологических схем.

Параметры и показатели применения технологических схем

Условия применения	Технологическая схема				
	1	2	3	4	5
Грузопоток, млн т/год	до 50-70	20-40	до 50-70	ограничивается производительностью скипового подъемника	ограничивается производительностью крутонаклонного подъемника в карьере
Среднее расстояние транспортирования в карьере, км	до 5	до 1,5	до 4	до 2	до 2
Высота подъема	автотранспорт: с глубины 80 до 140 м, железнодорожный транспорт: до глубины 50 м конвейерный транспорт: для перемещения пород, не требующих дробления, с глубины 50 м и более, с дроблением пород – 200 м и более транспортирование горной массы из карьера должен быть увязан со сроками строительства и эксплуатации подъемника	более 200 м (в частных случаях более 100 м)	более 100 м	вертикальный скиповой подъем с глубины 200 до 400 м	транспортирование горной массы из карьера и подъемных горных выработок
Назначение подъемника					
Режим горных работ					
Относительные размеры карьера в плане	при угле наклона конвейера до 18° – вытянутые, более 18° – любые	небольшие (ограниченные)	любые		
Тип месторождения	для ленточного конвейера – глубинное, реже нагорное; для крутонаклонного конвейера – глубинное	глубинное		глубинное, нагорное, нагорно-глубинное	глубинное
Вокрывающие выработки	наклонные и крутые траншеи				наклонные, крутые траншеи и подземные выработки
Система разработки	при ОГР – углубочная, предпочтительно однобортная, для округлых карьеров в плане – периферийная; при ПГР – без ограничений при отсутствии взаимного геомеханического влияния при ведении горных работ	углубочная, двубортная, кольцевая, центральная, периферийная		углубочная однобортная, двубортная, кольцевая, центральная	предпочтительно однобортная, для округлых карьеров в плане – периферийная; при ПГР – с закладкой выработанного пространства или системы с обрушением с оставлением целиков на участках с подъемником на борту карьера
Климатические условия	преимущественно не холодный климат, либо устройство галерей	отсутствует зависимость от климатических условий			при конвейерном подъемнике преимущественно не холодный климат, либо устройство галерей; при скиповом подъемнике отсутствует зависимость от климатических условий
Крупность транспортируемого материала, мм	до 250	кондиционный размер куска для выемочно-погрузочного оборудования	до 500	до 1200	до 250
Трасса подъемника	для ленточного конвейера: при угле откоса борта до 18° подъемник прокладывают по борту перпендикулярно линии бровки уступов (трасса прямая); при угле откоса борта карьера от 18 до 30° подъемник располагают диагонально линии бровки уступов (трасса прямая); при крутопадающем месторождении – трасса ломаная с расположением конвейеров по спирали или на подбоях серпантина; для крутонаклонного конвейера: подъемник прокладывают по борту перпендикулярно линии бровки уступов, величина угла подъема не ограничивается	уклон трассы до 60°; устройство подъемника обычно производится на рабочем борту под углом его естественного откоса	угол наклона ствола 1,3-1,8°	подъемник размещается в вертикальном скиповом стволе	подъемник прокладывают по борту перпендикулярно линии бровки уступов, величина угла подъема не ограничивается
Тяговый орган	собственный привод	подъемная машина	собственный привод	подъемная машина	при конвейерном подъемнике собственный привод; при скиповом подъемнике подъемная машина
Перегрузка на верхней и нижней станциях	может и не существовать	существует	может и не существовать	существует	может и не существовать

Список литературы

1. Каплунов Д.Р., Юков В.А. Геотехнология перехода от открытых к подземным горным работам: учеб. пособие. М.: Горная книга, 2007. 267 с.: ил.
2. Гавришев С.Е., Бурмистров К.В., Кидяев В.А. Использование преимуществ карьерного комбинированного транспорта при открыто-подземной разработке месторождений // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2010. №3. С. 25-28
3. Васильев М.В., Фадеев Б.В., Хохряков В.С.. Наклонные подъемники на карьерах. М.: Госгортехиздат, 1962. 151 с.
4. Васильев М.В. Транспорт глубоких карьеров. М.: Недра, 1983. 295 с.
5. Трубецкой К.Н., Краснянский Г.Л., Хронин В.В.. Проектирование карьеров: учебник для вузов: в 2 т. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд. Академии горных наук, 2001. Т. II. 535 с.: ил.
6. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1968. 504 с.
7. Шахмейстер Л.Г., Солод Г.И.. Подземные конвейерные установки / под ред. чл.-кор. АН СССР Спиваковского А.О. М.: Недра, 1976, 432 с.
8. Транспорт на горных предприятиях / Кузнецов Б.А., Ренгевич А.А., Шорин В.Г. и др. М.: Недра, 1976. 552 с.
9. Щелканов В.А. Подземные выработки на карьерах. М.: Недра, 1982. 128 с.
10. Высокопроизводительные глубокие карьеры / Новожилов М.Г., Дриженко А.Ю., Маевский А.М. и др.; под ред. Новожилова М.Г. М.: Недра, 1984. 188 с.

Bibliography

1. Kaplunov D.R., Yukov V.A. Geotechnology transition from open to underground mining operations: The manual. Moscow: Publishing House «Mountain Book», 2007. 267 p.
2. Gavrishev S.E., Burmistrov K.V., Kidyayev V.A. Take advantage of open pit combined transport in open and underground mining // Bulletin MSTU named after G.I. Nosov. 2010. №3. P. 25-28
3. Vasiliev M.V., Fadeev B.V., Khokhryakov V.S. Inclined lifts in the open pits. Gosgortekhizdat, M., 1962. 151 p.
4. Vasiliev M.V. Transport of deep pits. M.: Nedra, 1983. 295 p.
5. Trubetzkoj K.N., Krasnyansky G.L., Hronin V.V. Pit design: Textbook. for Universities: 2 volumes. 2 ed., rev. and add. M.: Publishing House of the Academy of Mining Sciences, 2001. T. II. 535 p.
6. Spivakovsky A.O., Dyachkov V.K. Transporting machine. Ed. 2nd, revised. and add. M.: Publishing House «Machine industry», 1968. 504 p.
7. Shahmeyer L.G., Solod G.I. Underground conveyor systems. Under. Ed. Corresponding Member. USSR Spivakovsky S.A. M.: Nedra, 1976. 432 p.
8. Kuznetsov B.A., Rengevich A.A., Shorin V.G. etc. Transport in mines. M.: Nedra, 1976. 552 p.
9. Shchelkanov V.A. Underground workings in the pits. M.: Nedra, 1982, 128 p.
10. Novozhilov M.G., Drizhenko A.U., Majewsky A.M. and others, Under. ed. Novozhilov M.G. High performance deep pits. M.: Nedra, 1984, 188 p.

УДК 622.3

Монтянова А.Н., Кириллов Д.С., Штауб И.В., Бильдушкинов Е.В.

СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗАКЛАДОЧНЫХ РАБОТ НА РУДНИКЕ «МИР» АЛМАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ АК «АЛРОСА»

Объектом изложенных в статье исследований являлась технология закладочных работ на алмазодобывающем руднике «Мир» при очистной выемке системой с закладкой выработанного пространства.

Приведены результаты усовершенствования технологии приготовления закладочных смесей – последовательное внедрение новых клинкерных и малоклинкерных составов, позволяющих сократить потребности в цементе на 10 и 30% соответственно.

Ключевые слова: кимберлитовая трубка, система разработки, цементный клинкер, цеолитовые породы, малоклинкерные вяжущие, природные рассолы, закладочный массив, водоупорные свойства.

The object of research described in the article is the method of backfilling in the Mir underground diamond mine which is developed using stoping excavation and backfilling mining method.

The results of improvement of technology of mixing the backfilling mixtures are presented, specifically, the consistent introduction of new clinker and low-clinker mixtures, which allow reducing the cement content by 10 and 30% respectively.

Keywords: kimberlite pipe, mining method, cement clinker, zeolite rocks, low-clinker cements, natural brines, backfilling mass, water-resistant properties.

Высокое содержание и ценность алмазов в добываемом сырье наряду с экстремальными условиями разработки алмазонасыщенной кимберлитовой трубки «Мир» предопределили целесообразность использования при подземной добыче системы разработки с закладкой выработанного пространства. В настоящее время практике закладочных работ на алмазодобывающем руднике «Мир» АК «АЛРОСА» 2 года. За столь незначительный период на руднике успешно внедрено ряд технических решений по сокращению стоимости возводимых закладочных массивов. Вместе с тем, осложнение гидрогеологической обстановки на руднике, вследствие проникновения рассолов Метегеро-Ичерского горизонта через предохранительный рудный целик в дне карьера, предопределяет необходимость изыскания способов предотвращения фильтрации воды в очистное пространство. Один из возможных способов – создание закладочного массива с водоупорными свойствами, разработка которого представляет собой актуальную и сложную технологическую задачу.

На первом этапе, на руднике «Мир» производство

закладочных смесей осуществлялось с применением в качестве вяжущего – порландцемента М400. Однако техническими решениями, разработанными на стадии технологических регламентов и проектов, был предусмотрен переход на использование в закладочных смесях не порландцемента, а молотого цементного клинкера. Внедрение составов на основе молотого клинкера состоялось уже в первый год эксплуатации рудника «Мир».

С указанной целью на закладочном комплексе рудника «Мир» введен в эксплуатацию участок помола с мельницей, оснащенной камерой сушки, и сепаратором фирмы «СИМТЕК» (Австрия) для нужд двух подземных рудников: «Мир» и «Интернациональный». Рудник «Интернациональный» расположен в 20 км от рудника «Мир».

Использование свежемолотого клинкера исключило потери и ухудшение качества дорогостоящего вяжущего в процессе его длительного транспортирования и хранения в межнавигационный период, что обеспечило снижение расхода цемента в составах закладочных смесей на 10% (табл. 1).

Таблица 1

Основные свойства закладки, используемой на руднике «Мир»

Фактический расход компонентов, кг/м ³						Вода + рас- сол/цемент + цеолит Водо/вяжущее	Предел прочности при сжатии, МПа (усло- вия тверде- ния – нор- мальные)	Водоне- проницае- мость W через 28 90 сут
Вяжущее, кг/м ³		Диабаз	Вода	Рас- сол	До- бавка ЛСТ			
Це- мент	Цео- лит							
293**		1427	369		1,7	1,26	7,95	W2 W0
201**	86	1357	174	174	2,5	1,21	9,0	W2 W0
329*		1306	380		1,0	1,15	6,9	W2 W2
103**		1549	387		0,6	3,76	1,00	W2 W0

* Портландцемент М400.

** Молотый цементный клинкер.

С целью снижения водоотделения от закладочных массивов, разупрочняюще влияющего на кимберлит, все составы закладочных смесей для рудников АК «АЛРОСА» содержат добавку лигносульфоната технического (ЛСТ). Эффективность применения ЛСТ при производстве закладочных смесей подтверждена практикой на рудниках АК «АЛРОСА». Доказано, что введение ЛСТ в закладочные смеси позволяет увеличить их растекаемость в выработанном пространстве с 40 до 80 м, снижает водоотделение от закладочного массива в два раза и повышает прочность закладки эквивалентно ~ 50 кг портландцемента. Дополнительно зафиксировано, что смеси с ЛСТ самотеком освобождают трубопровод до начала его промывки (угол наклона горизонтального участка 2°).

Поиск приемлемых технических решений в области сокращения потребления цемента на рудниках «Мир» и «Интернациональный» побудил вернуться к исследованиям института Якутнипроалмаз 1982-1996 гг. В отмеченный период было выявлено [1], что местные цеолитовые породы месторождения «Хонгуруу» являются эффективным средством сокращения расхода цемента при производстве строительной продукции и закладочных смесей. Однако результаты были получены на закладочных смесях, приготовленных с использованием только карбонатных заполнителей, обладающих, как известно, некоторой активностью.

При разработке составов закладочных смесей для рудника «Мир» (2002-2003 гг.) было выявлено, что использование в качестве заполнителей не карбонатных, а инертных материалов (диабазовые породы, мелкозернистые пески) снижает эффективность цеолитовых пород как средства сокращения цемента.

В 2008 г. специалистами ООО «Технологии закладки» и АК «АЛРОСА» разработано новое техническое решение. Установлено, что при затворении цеолитосодержащих закладочных смесей местными природными рассолами Метегеро-Ичерского водоносного комплекса активизируются свойства цеолитовых пород. Размещение рассолов, являющихся сильнейшими электролитами, в их поровом простран-

стве способствует образованию связей с цементом не только поверхностным слоем частиц цеолита, но и внутренним. В закладочной смеси активизированные цеолитовые породы интенсивно взаимодействуют с цементом, а также хлористыми солями, содержащимися в рассолах, что сопровождается существенным улучшением свойств закладки. Улучшаются подвижность и растекаемость закладочных смесей; снижаются усадка и водоотделение; возрастает в 5-7 раз ранняя прочность

закладки (возраст 3-7 сут). Получены композиции, в которых цеолитом замещается 30-40% молотого клинкера или портландцемента, без потери прочности закладки и независимо от применяемого заполнителя.

Новое техническое решение защищено патентом и внедрено. При этом на закладочном комплексе рудника «Мир» осуществляется приготовление цеолитосодержащего вяжущего также для нужд двух рудников: «Мир» и «Интернациональный». Проектная производительность помольного участка – 200 тыс. т вяжущего в год.

Экономическими расчетами, выполненными Мирнинским ГОКом, установлено, что внедрение цеолитосодержащих составов на рудниках «Мир» и «Интернациональный» обеспечило снижение стоимости закладочных смесей на 16-18%. При этом потребности в дорогостоящем привозном цементном клинкере сокращены на 30% без потери прочности закладки (см. табл. 1).

При решении задачи по созданию на руднике «Мир» закладочного массива с водоупорными свойствами учитывался опыт, наработанный в строительстве. Из практики строительства известно, что в основном водонепроницаемость бетона зависит от его пористости и водоцементного отношения (у обычного бетона В/Ц от 0,4 до 1,0, у водонепроницаемого – до 0,4). Закладочный массив формируется из твердеющих смесей с В/Ц от 1, до 4,0. При таких В/Ц закладочный массив характеризуется высокой пористостью (~ 35%) и влажностью (~ 20%) [1]. Данные параметры значительно превосходят показатели, характерные для бетона. Водонепроницаемость закладки ранее не изучалась.

На первом этапе исследований установлено ускоренным методом, что водонепроницаемость используемых на руднике «Мир» закладочных смесей характеризуется показателями W0-W2 (см. табл. 1). Однако с учетом того, что по факту в производственных условиях составы закладочных смесей отличаются повышенным водосодержанием по сравнению с лабораторными составами, очевидно, что в основной своей массе

у сформированных на руднике «Мир» закладочных массивов показатель водонепроницаемости W_0 .

Кроме того, путем визуальных наблюдений за состоянием искусственной кровли на руднике «Мир» установлено, что наиболее проблемными с точки зрения водопроницаемости являются сопряжения искусственных массивов в пределах слоя сопряжения с вмещающими породами, а также зоны вокруг перемычек.

Разработана «Методика проведения экспериментальных исследований». При этом использовались как известные, так и специально разработанные методы. Всего в процессе экспериментов изготовлено 144 серии образцов для различного вида испытаний. С целью обеспечения закладке водонепроницаемости исследована эффективность введения в составы закладочных смесей различных специальных добавок (табл. 2).

Установлено, что с течением времени (90 и более суток) водонепроницаемость всех составов, не содержащих модификатор бетона, снижается или сводится на нет. Следует уточнить, что данные показатели получены при определении водонепроницаемости ускоренным методом. Запланирована перепроверка полученных результатов путем проведения стандартных испытаний по методу «мокрого пятна».

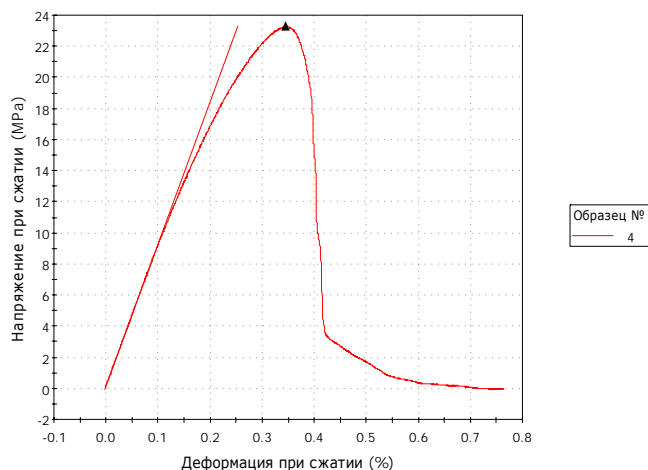


Рис. 1. Зависимость «напряжение-деформация» при испытании образца высокопрочной, водоупорной закладки с модификатором ($W \geq 16$)

Разработанные составы закладочных смесей различной водонепроницаемости, вследствие их патентоспособности, не приводятся, а свойства наиболее характерных составов представлены в табл. 3. При этом водонепроницаемость $W \geq 16$ у составов с модификатором установлена стандартным способом – испытанием водой под давлением.

Таблица 2

Водонепроницаемость образцов закладки

Номер серии	Спец-добавка + пластификатор	В/Ц	$R_{сж}$, МПа	$R_{изг}$, МПа	Водонепроницаемость W через 28/90 суток
В-4	нет + ЛСТ	1,15	6,9	1,8	$W_2 W_2$
102	нет + ЛСТ	0,83	20,5	4,8	$W_{10} W_2$
103	нет + ЛСТ	0,75	21,5	5,2	$W_{14} W_4$
В-79	Кальматрон+ ЛСТ	0,69	20,6	4,9	$W_4 W_2$
В-63	Акватрон + «С-3»	0,82	16,2	3,0	$W_0 W_0$
В-75	МБ 10-50С+ нет	0,50	30,2	8,3	$W_{20} W_{20}$, $W \geq 16$ при испытании водой под давлением

Таблица 3

Свойства водонепроницаемых составов закладки

Технологические параметры	Численные значения технологических параметров		
	Требуемые	Состав без спецдобавок, W_2	Состав с МБ, $W \geq 16$
Растекаемость, см	≥ 19	23	22
Угол растекания, град	≤ 3	2	1
Предельное напряжение сдвига, кгс/м ²	≤ 20	10,8	8,3
Коэффициент расслаиваемости	$\leq 1,5$	1,5	1,27
Водоотделение, %	≤ 1	0,4	0
Усадка, %	≤ 1	0,5	0,07
Предел прочности при одноосном сжатии / изгибе, МПа	≥ 1	6,9 / 1,8	30,2 / 8,5
Модуль деформации, МПа		8500	8900
Водонепроницаемость	W_2 - W_{12}	W_2 (требуется перепроверка)	$W \geq 16$ (установлен методом «мокрого пятна»)
Адгезия к соли/закладке, МПа	$\geq 0,1$	0,09 / 0,17	0,15 / 1,74
Коррозионная стойкость	$\geq 0,8$	0,85	1,09
Предел прочности при сжатии через 28/120 суток		6,9/10,3	30,2/45,5

В лабораторных условиях ИПКОН РАН на установке ИНСТРОН определены деформационные свойства закладки.

Выявлено, что, несмотря на высокие прочностные показатели составов с модификатором, модуль их деформации практически идентичен модулю деформации закладки, применяемой на рудниках «Мир» и «Айхал» и выявленному ранее [1]. Закладка не является жесткой, что подтверждается динамикой разрушения образцов в процессе испытаний (рис. 1). Вывод также требует перепроверки, что запланировано.

Эффективность Модификатора объясняется повышенным содержанием гелевых пор ($1-5 \cdot 10^{-3}$ мкм) в продуктах твердения и соответственно сокращенным объемом капиллярных пор ($5 \cdot 10^{-3}-2 \cdot 10^1$ мкм), которые определяют водо- и газопроницаемость цементной системы [2]. Коэффициент фильтрации системы также приведен на рис. 2.

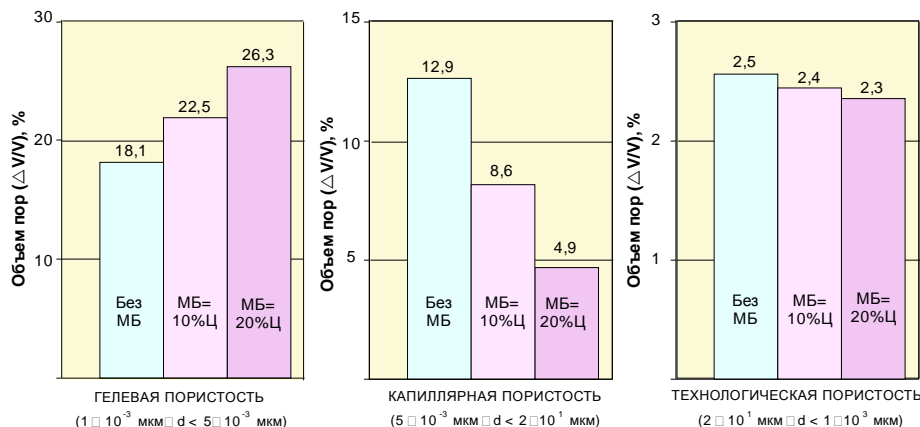


Рис. 2. Пористость цементного камня с комплексным органоминеральным модификатором (общая пористость 33,5%)

В целом структура цементного камня становится более дисперсной с преобладанием мелкозернистых кристаллогидратов и гелеобразных продуктов твердения (рис. 3) [2]. Изменения структуры способствуют снижению проницаемости цементных систем с модификаторами для жидкостей, газов, ионов хлора (рис. 4) [2].

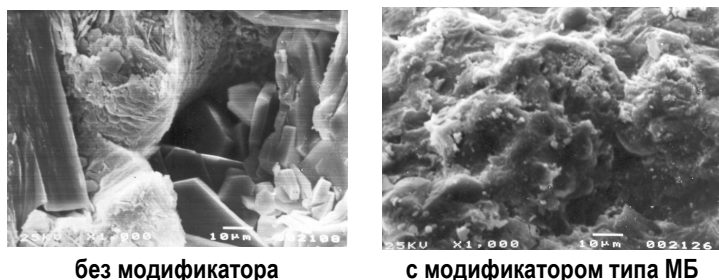


Рис. 3. Микроструктура цементного камня (увеличение в 1000 раз)

Геомеханическими и термодинамическими расчетами не выявлены противопоказания к применению водоупорного закладочного массива на руднике «Мир».

Сформулированы предварительные рекомендации по конструктивным параметрам и местоположению водоупорного слоя. Основные положения следующие. При возведении водоупорного закладочного массива его несущую часть целесообразно формировать без изменений (толщина 1,5 м, слой армируется, выравни-

вание слоя производится с помощью промежуточных перемычек, марка закладки М60). Водоупорную прослойку целесообразно формировать над несущим слоем либо мощной, до заполнения выработки под кровлю (I вариант, без спецдобавок), либо толщиной ~ 0,5 м (II вариант, с модификатором). При этом во втором варианте пространство над водоупорной прослойкой заполняется базовым составом закладки М10, т.е. массив трехслойный.

Необходимо производить дополнительное инецирование сопряжений закладочных массивов в случае, если герметизации швов не удастся достичь за счет адгезии, что предусмотрено.

Водоупорный закладочный слой следует заглублять во вмещающие породы с целью исключения фильтрации контактной зоны. Заглубленную часть искусственного массива целесообразно формировать с подъемом с целью создания эффекта мулды. Поскольку над водоупорным слоем будет скапливаться фильтрат, появляется опасность его прорыва. Для предотвращения данного негативного аспекта необходимо предусмотреть сооружение в заданной части водоупорного слоя дренажной скважины для отвода скапливающегося фильтрата. Предпочтительно местоположение водоупорного закладочного слоя ($v \sim 150$ тыс. м³) в отметках от -280 до -290 м (вмещающие породы – доломиты). Возможно возведение водоупорного слоя в контакте с галогенными вмещающими породами. Однако в последнем случае сложнее обеспечить герметичность зоны «закладка-соль» вследствие более низкой адгезионной прочности данного контакта и природной трещиноватости, ползучести, растворимости галогенного массива.

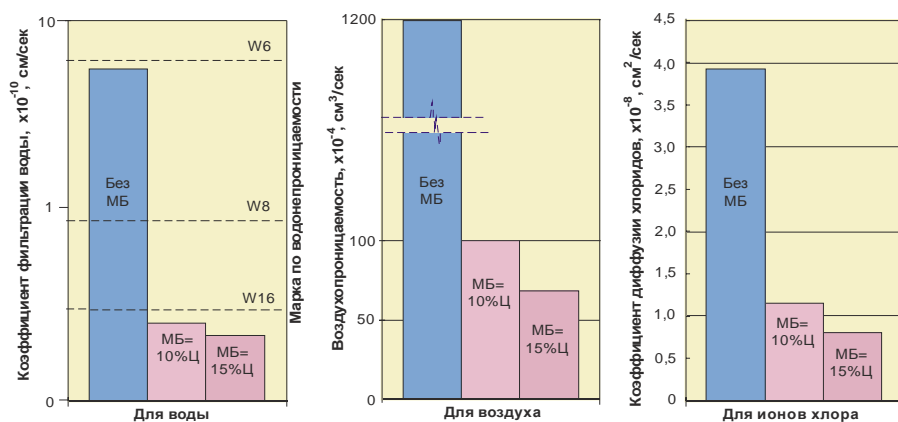


Рис. 4. Проницаемость цементных систем с комплексными органоминеральными модификаторами

Исследования, в результате которых выявлена возможность создания закладочного массива с водопорными свойствами, завершены в мае 2012 г. Следует подчеркнуть, что работа по данной тематике выполнялась впервые в мировой практике, положительный результат не гарантировался, т.е. работа носила поисковый характер.

Полученные положительные результаты подлежат

проверке, развитию, оптимизации, конкретизации в рамках опытно-промышленных испытаний (далее – ОПИ) на руднике «Мир». Методика ОПИ разработана. Пример формирования опытного закладочного массива с водопорными свойствами представлен на рис. 5, испытания намечены на ноябрь 2012 г. При положительных результатах ОПИ в первой половине 2013 г. запланирована разработка технологического регламента.

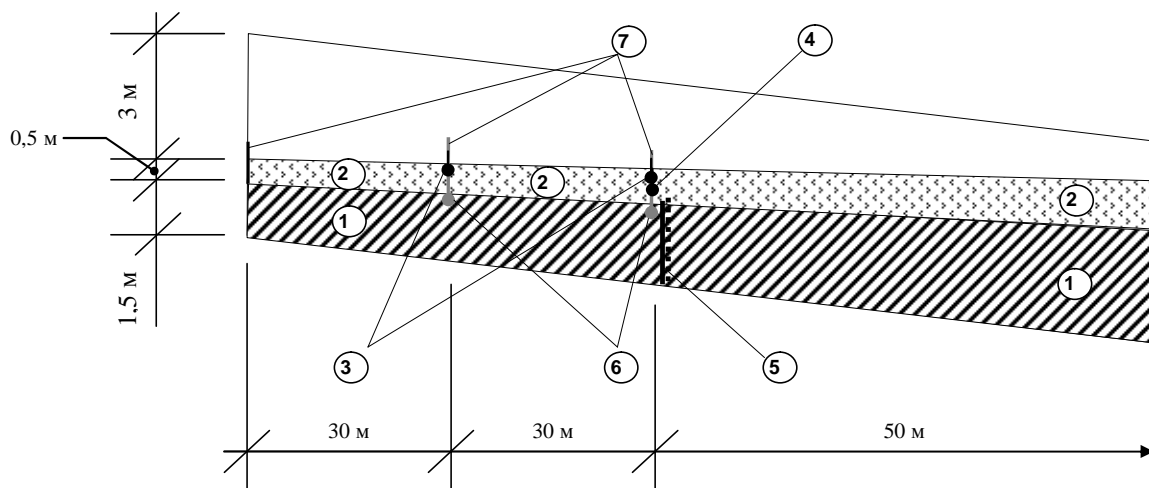


Рис. 5. Способ формирования в процессе ОПИ водопорных закладочных массивов над несущим слоем (на примере водопорного слоя по варианту II): 1 – базовый состав закладки М60; 2 – водопорный состав, $W > 16$, с модификатором; 3 – перфорированный шланг для подачи воды (прокладывается по ширине выработки); 4 – перфорированный шланг для подачи инъекционного раствора типа «Микродур» (прокладывается по ширине выработки); 5 – постоянная промежуточная перегородка в несущем слое (не демонтируется); 6 – наблюдательные скважины, пробуренные на всю шину выработки (под стыками); 7 – временные ограждающие перегородки демонтируются)

Список литературы

1. Монтянова А.Н. Формирование закладочных массивов при разработке алмазных месторождений в криолитозоне. М.: Горная книга, 2005. 597 с.
2. Влияние органоминерального модификатора МБ-50С / Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Карпенко Н.И., Кузнецов Н.И. Влияние на структуру и деформативность цементного камня и высокопрочного бетона // Бетон и железобетон. 2003. №3. С. 2-7.

Bibliography

1. Montyanova A.N. Backfilling Mass Formation during the Development of Diamond Deposits in Kryolitic Zone. Moscow, Gornaya kniga, 2005. 597 p.
2. Kapriyevlov S.S., Scheinfeld A.V., Karpenko N.I., Kuznetsov N.I. Effect of MB-50C Organo-Mineral Modifying Agent on the Structure and Deformability of the Cement Stone and High-Strength Concrete. // Beton I Zhelezobeton (Concrete and Reinforced Concrete), №3, 2003, pp. 2-7.

ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ И ОТХОДОВ

УДК 669.3

Катренов Б.Б., Селиванов Е.Н., Жумашев К.Ж.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕДНОГО КУПОРОСА НА СТЕПЕНЬ ДЕСУЛЬФУРИЗАЦИИ ОКАТЫШЕЙ ИЗ МЕДНОГО КОНЦЕНТРАТА В ХОДЕ ПАРОВОЗДУШНОГО ОБЖИГА

В статье представлены результаты экспериментов по определению степени десульфуризации окатышей из медного концентрата в ходе паровоздушного обжига. Окатыши были приготовлены с использованием в качестве связующего водного раствора лигносульфоната и водного раствора медного купороса и лигносульфоната. Результаты экспериментов показали, что степень десульфуризации окатышей, приготовленных с использованием водного раствора медного купороса и лигносульфоната, выше в 1,4 раза по сравнению с окатышами, приготовленными с использованием водного раствора лигносульфоната. Этот факт показывает перспективность применения медного купороса при окусковании медного концентрата.

Ключевые слова: окатыши из медного концентрата, медный купорос, паровоздушный обжиг, степень десульфуризации окатышей.

The result of the experiments on the steam-air roasting of copper granules and determination of the degree of desulphurization of granules are given in the article. The granules prepared both with the addition and without the addition copper vitriol were subjected to roasting. The result of the experiments showed that the mean value of the degree of desulphurization of the granules with the addition of copper vitriol is 1,4 higher that for the granules prepared without copper vitriol. This fact predetermines the prospect of using copper vitriol during copper concentrate granulation.

Keywords: pellets of copper concentrate, copper vitriol, steam-air roasting, desulphurization degree of pellets.

В результате истощения запасов качественного по составу медьсодержащего сырья в переработку начали вовлекать сложные по минералогическому и химическому составу полиметаллические руды. Получаемые из таких руд медные концентраты характеризуются низким содержанием меди и высоким, по сравнению с богатыми концентратами, содержанием серы. Получение черновой меди из такого сырья по классической технологии, предусматривающей плавку на штейн и его конвертирование, приводит к образованию большого количества сернистого газа, утилизация которого является проблемной. Традиционно сернистый газ утилизируют с получением серной кислоты. Однако в условиях низкого спроса на кислоту и ограниченной мощности сернокислотного производства, переработка всего объема образующегося сернистого газа требует весьма существенных капиталовложений. Такая ситуация характерна для Жезказганского медеплавильного завода в связи с вовлечением в производство высокосернистых медных руд, содержащих большое количество сульфидов железа. В связи с этим возникает необходимость снижения объемов сернистого газа, поступающего в сернокислотные цеха. Достичь этого можно путем применения технологических схем переработки медного концентрата на черновую медь, позволяющих переводить серу концентрата в элементное состояние и получать продукт, более пригодный (чем кислота или сжиженный диоксид серы) для транспортировки

и длительного хранения. Поэтому представляет интерес технологическая схема, предусматривающая проведение паровоздушного обжига исходного сырья (рис. 1).

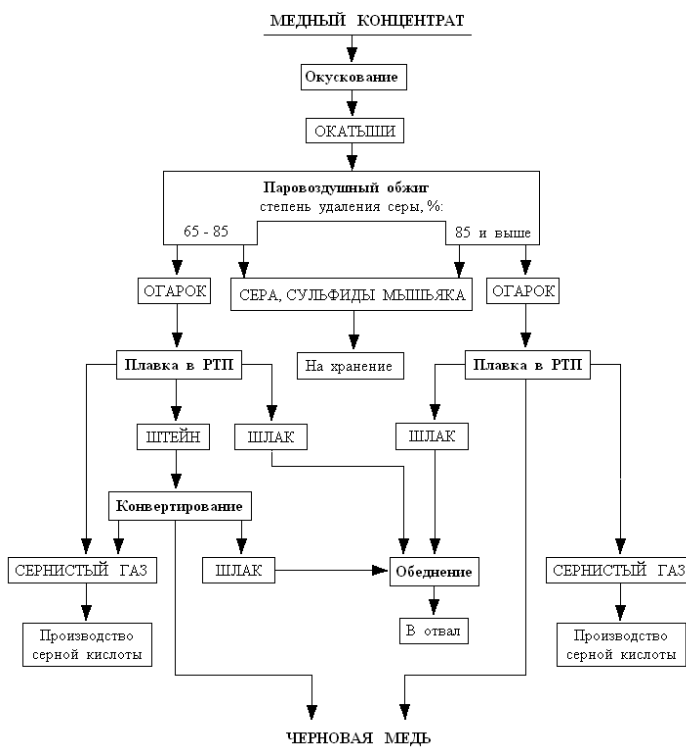
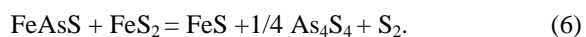
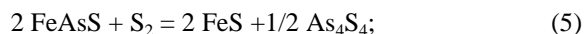
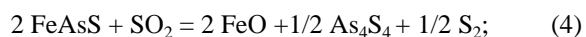
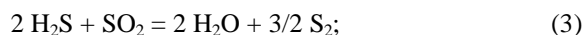
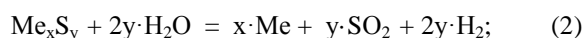
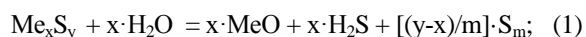


Рис. 1. Схема переработки медного концентрата на черновую медь

Паровоздушный обжиг позволяет перевести большую часть серы гранулированного концентрата в элементное состояние и часть мышьяка – в нетоксичные сульфиды [1] по реакциям:



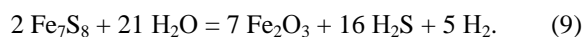
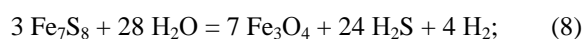
Частичное удаление серы в элементном виде позволит снизить объемы сернистого газа, направляемого в сернокислотные цеха.

Однако пробный паровоздушный обжиг окатышей из медного концентрата, содержащего большое количество пирита FeS_2 и халькопирита $CuFeS_2$, в лабораторной трубчатой печи показал, что степень десульфуризации остается низкой. При температуре обжига $800^\circ C$ и продолжительности 60 мин она составила всего лишь 40%. Причиной этого, скорее всего, является образование продуктов разложения и окисления сульфидов железа и меди, тормозящих внутридиффузионные процессы. Анализ огарка в разрезе показал наличие на поверхности окатышей оксидов железа Fe_3O_4 и Fe_2O_3 , а в центре – наличие пирротинов Fe_7S_8 , FeS , борнита Cu_5FeS_4 , а также неразложившихся пирита и халькопирита.

Как показано в работе [2], пирит окисляется паровоздушной смесью только через стадию термической диссоциации на элементарную серу и пирротин:



Пирротин, в свою очередь, окисляется до оксидов железа по следующим реакциям:

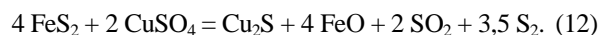
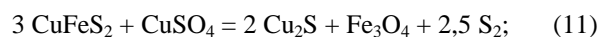


Халькопирит разлагается по реакции



Анализ работы [3] показывает, что образование пирротина Fe_7S_8 и борнита Cu_5FeS_4 приводит к усилению внутридиффузионного сопротивления процессу обжига и, следовательно, снижает степень удаления серы из концентрата.

С целью повышения степени десульфуризации окатышей в ходе обжига и снижения расхода лигносульфоната в качестве добавки при окусковании концентрата предложено использовать медный купорос ($CuSO_4 \times 5H_2O$), получаемый из отработанного электролита [4]. Предполагается, что медный купорос будет способствовать повышению пористости окатышей за счет выделения гидратной влаги в начальный период обжига. Увеличение пористости, в свою очередь, приведет к интенсификации диффузионных процессов и удалению серы в газ. С другой стороны, часть исходных минералов будет взаимодействовать с сульфатом меди по реакциям:



С целью проверки этой гипотезы были проведены эксперименты по оценке степени десульфуризации в ходе паровоздушного обжига окатышей, полученных с применением в качестве связующего как водного раствора лигносульфоната, так и водного раствора лигносульфоната с медным купоросом. В качестве объекта исследования были взяты окатыши, приготовленные из медного концентрата, содержащего, %: 13,8 Cu; 3,28 Pb; 4,12 Zn; 29,95 Fe; 36,85 S; 8,07 SiO_2 ; 1,98 Al_2O_3 ; 1,01 CaO; 0,94 As. В работе [5] показано, что на степень десульфуризации при обжиге могут оказывать влияние следующие факторы: температура обжига t , $^\circ C$; продолжительность обжига τ , мин; диаметр окатышей d , мм. Эксперименты проводились по матрице трехфакторного эксперимента на четырех уровнях по методу вероятностно-детерминированного планирования [6] с варьированием вышеперечисленных факторов (табл. 1).

Таблица 1

Уровни факторов

Фактор	Уровень			
	1	2	3	4
t , $^\circ C$	500	600	700	800
τ , мин	30	45	60	75
d , мм	7	9	11	13

Результаты опытов по определению степени десульфуризации гранул, полученных с применением в качестве связующего водного раствора лигносульфоната, представлены в табл. 3.

Таблица 2

Результаты опытов по определению степени десульфуризации окатышей, полученных с применением в качестве связующего водного раствора лигносульфоната, в ходе паровоздушного обжига

Номер опыта	t , $^\circ C$	τ , мин	d , мм	$\alpha_S^Э$, %	α_S^P , %
1	500	30	7	21,1	25,5
2	600	45	9	33,7	31,9
3	700	60	11	34,6	36,0
4	800	75	13	38,8	39,9
5	500	45	11	32,5	27,9
6	600	60	13	36,8	32,4
7	700	75	7	51,4	43,3
8	800	30	9	36,3	29,2
9	500	60	7	35,0	34,6
10	600	75	9	34,9	39,1
11	700	30	11	24,2	26,6
12	800	45	13	29,4	30,9
13	500	75	11	34,6	33,9
14	600	30	13	25,3	23,9
15	700	45	7	36,1	34,6
16	800	60	9	42,3	39,6

Выборкой и усреднением экспериментальных данных, относящихся к одинаковым условиям обжига (табл. 2), получены точечные зависимости (рис. 2), которые описали следующими частными уравнениями:

$$\alpha_S^P = 2,89t^{0,38}, R = 0,91, t_R = 7,1 > 2; \quad (13)$$

$$\alpha_S^P = 6,04\tau^{0,437}, R = 0,98, t_R = 46,2 > 2; \quad (14)$$

$$\alpha_S^P = 41,8 - 0,76d, R = 0,62, t_R = 2,2 > 2. \quad (15)$$

Полученные частные уравнения были объединены в единую многофакторную зависимость:

$$\alpha_S^P = 0,015t^{0,38} \cdot \tau^{0,437} \cdot (41,8 - 0,76d), R = 0,8, t_R = 7,7 > 2. \quad (16)$$

Доверительный интервал этого уравнения составляет $\pm 3,94\%$, или по относительной величине $11,5\%$.

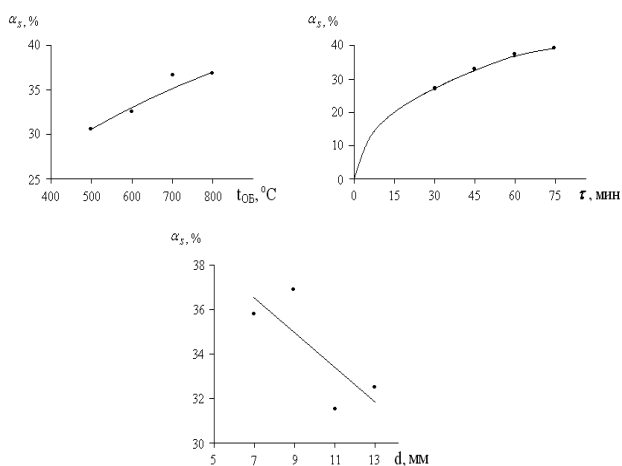


Рис. 2. Частные зависимости степени десульфуризации окатышей, полученных с применением в качестве связующего водного раствора лигносульфоната

По результатам опытов установлено, что все три варьируемых фактора (t, τ, d) оказывают влияние на степень удаления серы в ходе обжига. Повышение температуры интенсифицирует процессы окисления сульфидных минералов, поэтому степень удаления серы с повышением температуры возрастает. С увеличением продолжительности обжига степень удаления серы также возрастает, так как чем больше продолжительность обжига, тем полнее протекают процессы окисления сульфидных минералов. С увеличением диаметра окатышей степень удаления серы уменьшается, так как чем больше размер окатышей, тем больше неокислившись сульфидных минералов остается в центре окатыша. Среднее экспериментальное значение степени удаления серы составило $34,2\%$.

Выборкой и усреднением экспериментальных данных, относящихся к одинаковым условиям обжига (табл. 3), получили точечные зависимости (рис. 3), которые описали следующими частными зависимостями:

$$\alpha_S^P = 10,76t^{0,23}, R = 0,85, t_R = 4,3 > 2; \quad (17)$$

$$\alpha_S^P = 11,75\tau^{0,35}, R = 0,93, t_R = 9,04 > 2; \quad (18)$$

$$\alpha_S^P = 52 - 0,56(d - 9)^2, R = 0,74, t_R = 2,3 > 2. \quad (19)$$

Эти частные уравнения были объединены в единую многофакторную зависимость:

$$\alpha_S^P = 0,056t^{0,23} \cdot \tau^{0,35} \cdot [52 - 0,56(d - 9)^2], R = 0,73, t_R = 5,38 > 2. \quad (20)$$

Доверительный интервал этого уравнения составил $\pm 5,8\%$, или по относительной величине $12,2\%$.

Таблица 3

Результаты опытов по определению степени десульфуризации окатышей, полученных с применением в качестве связующего водного раствора медного купороса лигносульфоната, в ходе паровоздушного обжига

Номер опыта	$t, ^\circ\text{C}$	$\tau, \text{мин}$	$d, \text{мм}$	$\alpha_S^Э, \%$	$\alpha_S^P, \%$
1	500	30	7	38,1	38,1
2	600	45	9	47,8	48,0
3	700	60	11	50,8	52,6
4	800	75	13	52,3	50,6
5	500	45	11	49,0	43,9
6	600	60	13	42,4	43,9
7	700	75	7	57,5	56,9
8	800	30	9	40,9	44,4
9	500	60	7	38,2	48,6
10	600	75	9	51,5	57,3
11	700	30	11	37,9	41,3
12	800	45	13	39,5	42,3
13	500	75	11	52,5	52,5
14	600	30	13	39,1	34,4
15	700	45	7	54,2	47,6
16	800	60	9	69,3	56,5

Анализ результатов показал, что все три варьируемых фактора (t, τ, d) оказывают влияние на степень удаления серы в ходе обжига. Аналогично ранее полученным данным степень удаления серы с повышением температуры и продолжительности обжига возрастает. Зависимость степени удаления серы от диаметра окатышей носит экстремальный характер с точкой максимума при величине, равной 9 мм. Затем, с ростом диаметра окатышей, степень десульфуризации понижается. Среднее экспериментальное значение степени удаления серы составило $47,6\%$.

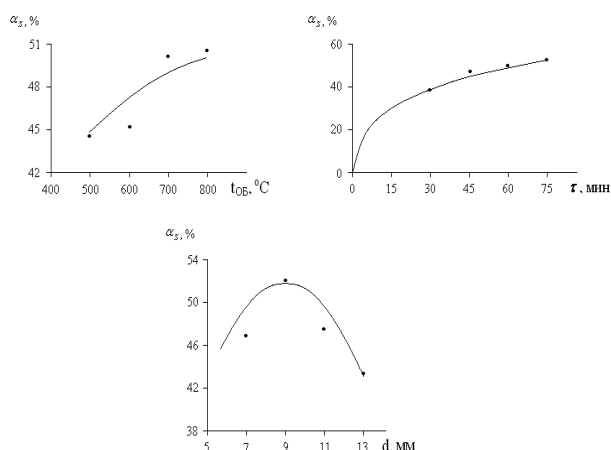


Рис. 3. Частные зависимости степени десульфуризации окатышей, полученных с применением в качестве связующего водного раствора медного купороса и лигносульфоната, от изучаемых факторов

Полученные в ходе обработки экспериментальных данных зависимости степени десульфуризации от температуры, продолжительности обжига и диаметра окатышей адекватно описывают процесс и обеспечивают сходимость экспериментальных (α) и расчетных (ρ) значений. Проведенные эксперименты показали, что степень десульфуризации окатышей, полученных с применением в качестве связующего раствора лигносульфоната с медным купоросом, выше, чем у гранул, полученных с применением в качестве связующего водного раствора лигносульфоната без медного купороса в 1,4 раза. Это показывает перспективность применения водного раствора медного купороса и лигносульфоната в качестве связующего при окисковании медного концентрата.

Список литературы

1. Турумбетов У.А., Жумашев К.Ж., Шаяхметова Ж.Н., Буканов Ж.У. Безотходная переработка сульфидного металлургического сырья. // Научно-технический прогресс в металлургии: сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф.(Темиртау, 29-30 сентября 2005). Алматы: РИК по учебной и методической литературе, 2005. С. 238-242.
2. Востриков В.А., Смирнов И.И., Шиврин Г.Н., Ковган В.Г. Окисление пирита в паровоздушной атмосфере // Цветная металлургия. 1990. №6. С. 38-41.
3. Шиврин Г.Н., Востриков В.А., Смирнов И.И. Влияние температуры и фазовых превращений на скорость взаимодействия сульфидов металлов с водяным паром // Цветная металлургия. 1989. № 1. С. 54-58.
4. Инновационный патент РК № 20990. Способ подготовки сульфидных концентратов меди и свинца к обжигу / Жумашев К.Ж., Турумбетов У.А., Нарембекова А.К., Катренов Б.Б. Оpubл. 16.03.2009. Бюл. № 3.
5. Букетов Е.А., Малышев В.П., Шкодин В.Г. и др. О возможности переработки медно-свинцовых концентратов с применением обжига в шахтных печах // Теория и практика обжига неорганических материалов: сб. науч. тр. Алма-Ата: Наука, КазССР, 1974. С. 8-15.
6. Малышев В.П. Математическое планирование металлургического и химического эксперимента. Алма-Ата: Наука, КазССР, 1977. 37 с.

Bibliography

1. Turumbetov U.A., Zhumashev K.ZH., Shayachmetova ZH.N., Bukanov ZH.U. Non-waste processing of sulphide metallurgical raw // Scientific and technical progress in metallurgy: collections of scientific papers of International scientific and practical conference. (Temirtau, September 29-30, 2005). Almaty: Republic publishing cabinet for study and methodical literature, 2005. P. 238-242.
2. Vostrikov V.A., Smirnov I.I., Shyvrin G.N., Kovgan V.G. The oxidation of pyrite in steam-air atmosphere // Non-ferrous metallurgy. 1990. № 6. 38-41 p.
3. Shyvrin G.N., Vostrikov V.A., Smirnov I.I. Influence of temperature and phase change on interaction rate between sulphide of metal and steam // Non-ferrous metallurgy. 1989. №1. 54-58 p.
4. Innovation patent № 20990 of Republic of Kazakhstan. The method of preparation of sulphide copper and lead concentrate to roasting process. Zhumashev K. ZH., Turumbetov U.A., Narembekova A.K., Katrenov B.B. Published by bulletin № 3 16.03.2009.
5. Buketov E.A., Malyshev V.P., Shkodin V.G. and others. About possibility of processing of copper-lead concentrates by roasting in shaft furnace // Theory and practice of roasting of inorganic substance: collections of scientific papers. Alma-Ata: Nauka, KazSSR, 1974. P. 8-15.
6. Malyshev V.P. Mathematical design of metallurgical and chemical experiments. Alma-Ata: Nauka, KazSSR, 1977. 37 p.

МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

УДК 669.337

Каримова Л.М.

ПОЛУЧЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ОКАТЫШЕЙ ЧЕРНОВОГО МЕДНОГО КОНЦЕНТРАТА ИЗ ЗАБАЛАНСОВОЙ РУДЫ

Получены модели эффективного поверхностного натяжения при ударной нагрузке для сырых и высушенных гранул, что позволяет использовать эти модели для оценки сохранности и разрушаемости при транспортировке от гранулятора до шахтной печи.

Ключевые слова: гранулы, медный концентрат, динамическая прочность, эффективное поверхностное натяжение, высота слоя.

The models of the efficient surface stretch under striking load for damp and dried granules are received that allows to use these models for estimation of safety and collapsibility by transportation from granulating plant to roasting shaft furnace.

Keyword: granules, copper concentrate, dynamic strength, efficient surface pull, height layer.

Необходимым условием подготовки медного сырья к обжигу является гранулирование исходного материала. При этом большое значение имеет получение гранул, прочностные характеристики которых должны позволять выдерживать нагрузки, возникающие при транспортировке и перегрузках, а также при переработке в обжиговой печи. Для решения этой задачи требуется изучить прочностные свойства гранул и определить условия получения наиболее прочных окатышей.

Знание прочности окатышей необходимо для прогноза выхода мелочи при частичном разрушении окатышей при их транспортировке и при переработке в обжиговой печи в целях выбора оптимального проектного варианта транспортировки или выдвигания определенных требований по прочности комков для уже выбранной или существующей системы подачи их в агрегат. Избыточное содержание мелочи ухудшает газопроницаемость слоя и приводит к повышенному пылеуносу и механическим потерям исходных материалов.

Исследованию подвергались гранулы, полученные из концентрата, химический состав которого приведен в табл. 1. В качестве связующего использовались смесь из раствора лигносульфонатов (сульфитспиртовая барда $\rho=1,04 \text{ г/см}^3$) и серной кислоты 10%. Концентрат подвергался окатыванию на укрупненном лабораторном грануляторе с диаметром чаши 1,2 м, высота борта 15 см при скорости вращения 20 об/мин и подаче связующего разбрызгиванием. Угол наклона гранулятора составлял 45° . Фракции гранул необходимого размера отсеивали на ситах, класс $-10+7 \text{ мм}$ ($d_{cp}=8,5 \text{ мм}$). Прочностные характеристики определялись как для сырых, так и подсушенных гранул. Сушку гранул проводили на решетке, под которую подавался нагретый до заданной температуры воздух.

При определении ударной (динамической) прочности окатышей использовалась энергостохастическая модель*, в которой ударная прочность оценивается по

вероятности их разрушения, тождественно равной выходу целых гранул при падении с определенной высоты.

Таблица 1

Содержание основных компонентов в концентрате, %

Cu	S	Fe	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃
4,3	3,49	3,4	3,05	1,52	1,20	62,04	10,46

Для определения выхода целых гранул в каждом опыте отбирали 100 гранул и задавали высоту при их одновременном сбрасывании. Полученные результаты по определению динамической прочности выхода целых сырых и высушенных при 105°C гранул приведены в табл. 2.

Таблица 2

Условия и результаты опытов по определению характеристик ударной прочности для сырых и высушенных гранул (выход целых гранул, д.е.)

Высота h, м	Сырые гранулы			Высушенные гранулы		
	Опыт 1	Опыт 2	Среднее значение	Опыт 1	Опыт 2	Среднее значение
0,5	0,97	0,99	0,98	0,93	0,83	0,88
0,75	0,97	0,95	0,96	0,91	0,71	0,81
1	0,90	0,87	0,885	0,83	0,68	0,755
1,5	0,76	0,69	0,725	0,61	0,51	0,56
2	0,62	0,57	0,595	0,45	0,38	0,415

Статистическую оценку воспроизводимости экспериментальных данных проверяли по критерию Кохрена

$$G_K = \frac{S_{u,\max}^2}{\sum_{u=1}^n S_u^2} \leq G_{(0,05;f_n;f_u)},$$

где G_K – фактическое; $G_{(0,05;f_n;f_u)}$ – табличное (нормативное) значение критерия Кохрена. Этот критерий

* Малышев В.П., Телешев К.Д., Нурмагамбетова А.М. Разрушаемость и сохранность конгломератов. Алматы: НИЦ «Фылым», 2003. 336 с.

зависит от принятого уровня значимости (точности) статистических расчетов, от числа степеней свободы каждой оценки $f_u = m - 1$ (где m – число параллельных опытов, из которого вычитается единица) и степени свободы независимых оценок $f_n = n$. Далее $S_{u\max}^2$ – наибольшая из всех вычисленных дисперсия; S_u^2 – дисперсия параллельных определений, т.е. разброс результатов повторных опытов в u -м независимом эксперименте относительно своего среднего значения.

Для сырых и высушенных гранул $G_K = 0,538462 < 0,8142$, $G_K = 0,4577 < 0,8142$ соответственно.

Как показывают результаты, критерий Кохрена оказался соблюденным, поэтому для дальнейших процедур рассчитываем ошибку эксперимента через дисперсию воспроизводимости для сырых и высушенных гранул:

$$S_u^2 = \frac{\sum_{p=1}^m (y_{up} - \bar{y}_u)^2}{m-1} = 437,0, S_u^2 = 45,5,$$

где y_{up} – результат p -го параллельного опыта в u -м независимом опыте; \bar{y}_u – среднее арифметическое всех параллельных определений в u -м независимом опыте.

Тогда ошибка эксперимента составит для сырых и сухих гранул соответственно:

$$S_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n S_u^2 = 87,4, S_y = \pm 9,35\%;$$

$$S_y^2 = 9,1, S_\delta = \pm 3,016\%,$$

Доверительный интервал

$$\delta = \pm t_{(0,05;f_y)} S_y / \sqrt{n},$$

где $t_{(0,05;f_y)}$ – статистический коэффициент Стьюдента, учитывающий случайный характер результата эксперимента на основе нормального закона распределения ошибок при уровне значимости 0,05 и числе степеней свободы дисперсии воспроизводимости $f_y = n(m - 1)$.

Доверительный интервал равен для сырых гранул 6,0% и для высушенных 10,74%.

Ударная прочность, она же выход целых гранул (в долях единицы), рассчитывалась по вероятностной формуле энергостохастической прочности

$$P_y = 0,5^{\left(\frac{2d\gamma gh}{\pi\rho_y}\right)^6}, \quad (1)$$

где d – размер (диаметр) гранул, м; γ – насыпная масса гранул, кг/м³; g – ускорение силы тяжести, равное 9,82 м/с²; h – высота падения

гранулы, м; ρ_y – энергия поверхности разрушения (эффективное поверхностное натяжение) при ударной нагрузке, Дж/м².

Эта формула основана на вероятностном характере разрушения под действием любых нагрузок (статических, ударных, термических), в результате чего вероятность разрушения связывается с долей разрушенного материала, а вероятность сохранности – долей оставшегося целым. Физическая сущность энергостохастической прочности непосредственно связывается с энергией вновь образованной поверхности разрушенного материала в размерности Дж/м², либо в тождественно равной ей силе поверхностного натяжения в размерности Н/м. Этой энергии противопоставляется соответствующая энергия нагрузки и их соотношением определяется увеличение или уменьшение выхода разрушенных или целых кусков.

Для расчета энергии поверхности разрушения использовали выражение из формулы (1)

$$\rho_y = \frac{2d\gamma gh}{\pi} \left(\frac{\ln 0,5}{\ln P_y} \right)^{1/6},$$

где P_y – выход целых гранул, доли единицы.

Насыпная масса γ для сырых и высушенных при 105°C составила 1016,0 и 875,2 кг/м³ соответственно. С учетом других постоянных численных значений ($g=9,82$ м/с², π , $d=0,0085$ м) расчетные формулы эффективного поверхностного натяжения выразились для сырых и высушенных гранул:

$$\rho_y = 54,016h \left(\frac{\ln 0,5}{\ln P_y} \right)^{1/6}; \quad (2)$$

$$\rho_y = 46,53h \left(\frac{\ln 0,5}{\ln P_y} \right)^{1/6}. \quad (3)$$

Полученные результаты представлены в табл. 3 и на рис. 1.

Таблица 3

Результаты опытов и расчетов по определению характеристик эффективного поверхностного натяжения ρ_y , Н/м, или энергии поверхности разрушения, Дж/м², и динамической прочности сырых и высушенных гранул P_y (д.е.)

h, м	Сырые гранулы				Высушенные гранулы			
	ρ_y^3	$\rho_y(4)$	P_y^3	$P_y(6)$	ρ_y^3	$\rho_y(5)$	P_y^3	$P_y(7)$
0,5	48,6852	50,9995	0,98	0,9848	30,8369	32,657	0,88	0,9134
0,75	64,9493	61,5992	0,96	0,9454	42,5584	42,314	0,81	0,8040
1	72,1388	72,1990	0,885	0,8855	54,0856	51,971	0,755	0,6997
1,5	92,0882	93,3985	0,725	0,7442	71,9037	71,285	0,56	0,5429
2	114,934	114,5980	0,595	0,6147	89,4406	90,599	0,415	0,4430

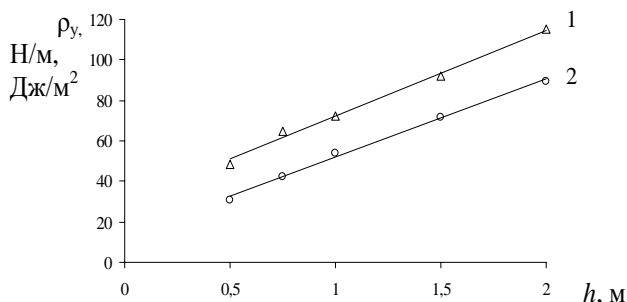


Рис. 1. Зависимость эффективного поверхностного натяжения (энергии поверхности разрушения) от высоты падения гранул: 1 – для сырых гранул; 2 – для высушенных гранул; точки – средние значения; линия – по уравнениям (4), (5)

По данным табл. 3 и рис. 1 нашли аппроксимирующую функцию для сырых и высушенных гранул:

$$\rho = 42,399h + 29,8, R=0,9930; \tag{4}$$

$$\rho = 38,628h + 13,343, R=0,9956 \text{ Н/м.} \tag{5}$$

Подставляя уравнения (4), (5) для сырых и высушенных гранул в модель (1), получаем вероятностную модель динамической прочности сырых и высушенных гранул:

$$P_y = 0,5^{\left(\frac{2d\gamma gh}{\pi(43,399h+29,8)}\right)^6}, \tag{6}$$

$$P_y = 0,5^{\left(\frac{2d\gamma gh}{\pi(38,628h+13,343)}\right)^6}. \tag{7}$$

Полученные результаты ударной прочности по (6), (7) проверяли на адекватность экспериментальных и расчетных зависимостей по коэффициенту корреляции R, который составил для сырых и высушенных гранул 0,9939 и 0,9757 соответственно, его значимости $t_R=141,300 > 2$, $t_R=35,27 > 2$. Данные для сырых и высушенных гранул представлены на рис. 2 и в табл. 3.

Для проверки и подтверждения модели (7) для высушенных гранул проведено сбрасывание гранул (100 шт.) диаметром 0,01 м с высоты 1 м, при этом доля целых гранул составила 0,4, а по расчету (ф-ла (7)) – 0,39.

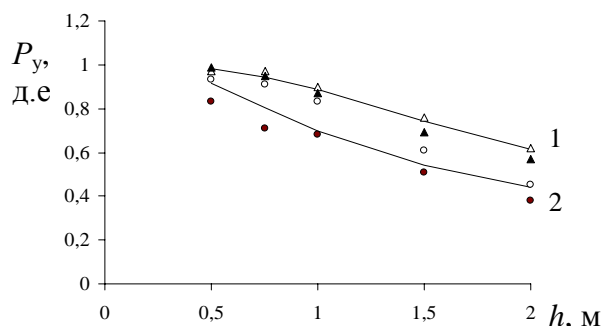


Рис. 2. Зависимость ударной прочности гранул от высоты падения: 1 – для сырых гранул; 2 – для высушенных гранул; точки – по экспериментальным данным (опыты 1, 2) для сырых и высушенных гранул; линии – по уравнениям (6), (7) соответственно

По уравнениям (6), (7) возможно рассчитать номограмму для определения ударной прочности, в которой можно варьировать высоту падения и диаметр гранул при известной насыпной массе (табл. 4, 5).

Таблица 4

Номограмма ударной прочности сырых гранул

d, м \ h, м	0,005	0,007	0,0085	0,010	0,012
0,4	0,9997	0,9979	0,9933	0,9827	0,9479
0,5	0,9993	0,9952	0,9848	0,9602	0,8859
0,75	0,9976	0,9826	0,9454	0,8618	0,6414
1	0,9949	0,9628	0,8855	0,7244	0,3819
1,2	0,9923	0,9435	0,8299	0,6099	0,2285
1,5	0,9878	0,9119	0,7442	0,4568	0,0964
1,8	0,9831	0,8799	0,6636	0,3371	0,0389
2	0,9800	0,8592	0,6147	0,2752	0,0212

Примечание. Выделены значения, в которых выход разрушения гранул более 20%.

Таблица 5

Номограмма ударной прочности высушенных гранул (при 105°С)

d, м \ h, м	0,005	0,007	0,0085	0,010	0,012
0,4	0,9979	0,9843	0,9507	0,8745	0,67013
0,5	0,9962	0,9721	0,9134	0,7864	0,4879
0,75	0,9910	0,9343	0,8040	0,5608	0,1778
1	0,9853	0,8946	0,6997	0,3880	0,0592
1,2	0,9809	0,8652	0,6286	0,2921	0,0253
1,5	0,9750	0,8265	0,5429	0,1980	0,0079
1,8	0,9698	0,7942	0,4778	0,1411	0,0028
2	0,9668	0,7757	0,4430	0,1154	0,0015

Приечание. Выделены значения, в которых выход разрушения гранул более 20%.

Выводы

Получены значимые модели эффективного поверхностного натяжения при ударной нагрузке для сырых и высушенных окатышей, что позволяет использовать эти модели для оценки сохранности и разрушаемости при транспортировке от гранулятора до шахтной печи.

Как показывают результаты, ударная прочность для сырых и сухих окатышей по эффективному поверхностному натяжению обнаруживает закономерное понижение. Ударная прочность сырых гранул в сравнении с высушенными отличается пластическим характером разрушения, т.е. предварительной деформацией, поэтому ρ_y для них выше. Это подтверждается обработкой данных для сухих гранул, которым свойственно хрупкое разрушение. Сухие гранулы размером более 10 мм при падении с высоты 1,2 м разрушаются более чем на 70%. Поэтому для допустимого разрушения окатышей не более 10% необходимо огра-

ничить высоту падения величиной 0,5 м, т.е. с обеспечением выхода целых гранул 91,34% для окатышей размером в среднем 8,5 мм.

Проверка в лабораторных условиях вероятност-

ных моделей ударной прочности окатышей определяется высокой точностью, находящейся в пределах 5%, что вполне достаточно для технологических оценок в промышленных условиях.

УДК 669.01

Журавлева Е.Н., Дроздова Т.Н., Пономарева С.В., Кирик С.Д.

МИГРАЦИЯ ЖЕЛЕЗА С ПОВЕРХНОСТИ АНОДА ПРИ ЭЛЕКТРОЛИЗЕ АЛЮМИНИЯ

На основе данных сканирующей электронной микроскопии, рентгеновской дифракции и спектроскопии рассматривается коррозия двухкомпонентных сплавов на основе железа, используемых в качестве анода, при высокотемпературном электролизе алюминия в криолитноглиноземном расплаве.

Ключевые слова: электролитическое получение алюминия, электролиз глинозема, металлические инертные аноды, механизм коррозионного разрушения.

Based on data from scanning electron microscopy, X-ray diffraction and spectroscopy is considered corrosion-component iron-based alloys used as the anode, the high-temperature electrolysis of aluminum cryolite-alumina melt.

Keywords: electrolytic production of aluminum and alumina electrolysis, metal inert anodes, mechanism of corrosion.

Введение

Исследования по инертным анодам связаны с одним из основных направлений модернизации современной алюминиевой промышленности [1]. Их использование обещает революционное изменение экологических последствий и снижение себестоимости производства алюминия. Однако, судя по литературным данным, оптимальный материал инертных анодов для внедрения в производство пока не найден [2-4]. В широкомасштабных исследованиях рассмотрено большое количество керамических, металлокерамических и металлических материалов. Наибольшие перспективы связывают с металлическими сплавами, однако их серьезным недостатком является коррозия в криолит-глиноземном расплаве в условиях анодной поляризации.

Механизмы коррозионного разрушения анодов исследовались в отечественной и зарубежной литературе [2,4-7]. Принято считать [6], что коррозия металлокерамических анодов обусловлена химическим растворением в электролите. Разрушение идет при межзеренной диффузии криолита в глубь поверхности [7]. Для коррозии металлических анодов [5] различают два механизма. В первом происходит окисление поверхностного слоя анода до NiFe_2O_4 ; NiO ; Fe_2O_3 . Во втором электролит проникает по границам зерен сплава в глубь анода, реализуя механизм канально-диффузионной деградации [1,4], и насыщает поверхность кислородом, который окисляет сплав до оксидов. Однако многие важные детали разрушения остаются непонятными, например: механизм химической коррозии, роль выделяющегося кислорода, условия образования шпинельных фаз на поверхности анода и некоторые другие. Совершенствование материала анода требует уточнения упомянутых деталей и, в целом, механизма коррозионного разрушения.

В настоящей работе на примере двухкомпонентных сплавов железа на основе данных рентгенофазового анализа, сканирующей электронной микроскопии и микрорентгеноспектрального анализа уточняется механизм коррозии анода.

Экспериментальная часть и методы исследования

Электролиз проводили в лабораторных условиях в электрохимической ячейке с вертикальными цилиндрическими анодами диаметром 8-10 мм, химический состав которых приведен в табл. 1. При подготовке образцов аноды первоначально заливались пластмассой и разрезались в поперечном сечении. Микрошлифы изготавливали на автоматизированных шлифовально-полировальных станках Saphir 520 (Germany). Микроструктурный анализ проводили на микроскопе Axio Observer.A1m, Carl Zeiss. Съемку рентгенограмм осуществляли на рентгеновском дифрактометре D6000 «Shimadzu». Микрорентгеноспектральный анализ был выполнен на растровом электронном микроскопе EVO 50 HVP (Carl Zeiss) с энергодисперсионным анализатором INCA Energy 350 (Oxford Instruments) при токе 200-230 pA и ускоряющем напряжении 20 кВ. Изображение микроструктуры сплава получали на микрошлифах с использованием BSE детектора – обратно рассеянных электронов и зонда электронного излучения.

Результаты и обсуждение

Исследование коррозии при электролизе прослеживали на группе анодов из сплавов на основе железа с добавлением 10% масс. легирующих элементов (табл. 1).

Таблица 1

Составы сплавов

Обозначение образцов	Легирующий элемент конц. (масс.%)
Ж100	
Н10	Ni, 10
М10	Cu, 10
Х10	Cr, 10
Мн10	Mn, 10
А10	Al, 10
Т10	Ti, 10

При извлечении анода из расплава вокруг него сохраняется бесформенный приэлектродный слой (рис. 1).

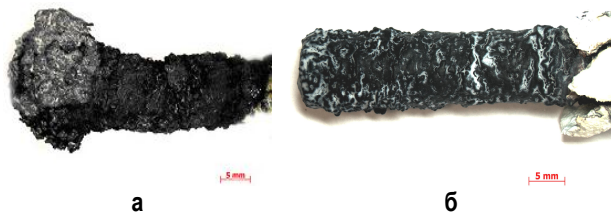


Рис. 1. Внешний вид анодов после высокотемпературного электролиза: а – сплав системы 100% Fe; б – сплав системы 90% Fe–10% Ni

Гистограммы распределения оксидных и фторидных фаз в приэлектродном слое представлены на рис. 2. Приэлектродный слой в основном состоит из закристаллизованных компонентов электролита. Среди «неэлектролитных» фторидов надежно определяется FeF_2 . Фторидных фаз легирующих элементов, за исключением алюминия, не обнаружено.

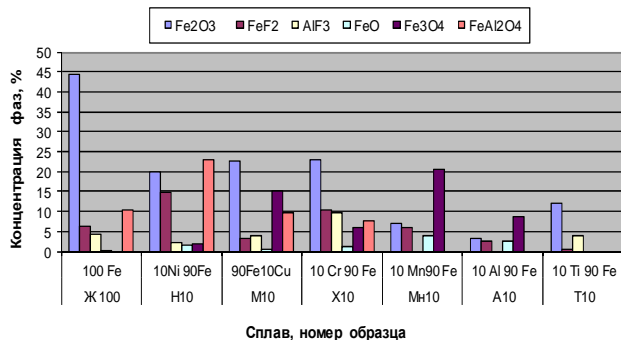


Рис. 2. Гистограмма распределения концентрации фаз в приэлектродном слое для исследуемых анодов

Оксиды железа (II,III) содержатся во всех проанализированных образцах. Гематит (Fe_2O_3) – конечная форма окисления. Его содержание меняется в широком интервале от 3% (для А10) до 44% (для Ж100). Часть оксидов железа находится в виде фаз со структурой шпинели: $FeAl_2O_4$ и Fe_3O_4 , $Me(Fe,Al)_2O_4$. По результатам количественного РФА можно отметить корреляцию в содержании фаз Fe_2O_3 и Fe_3O_4 , которая является следствием перехода Fe(II) в Fe(III). В прианодной области также были зафиксированы другие фазы, включающие легирующие компоненты: $\alpha-Al_2O_3$ (7-12%), $FeCr_2O_4$ (6%), NiO (0,5%), Cu (0,5%), $Fe_{2,50}Ti_{0,5}O_4$ (10%), MnO_2 (1%).

На рис. 3 и 4 представлены снимки шлифов образцов Ж100, М10, А10, полученные на оптическом и электронном микроскопах соответственно. Видно, что металлическая часть окружена достаточно толстым кольцом продуктов коррозии. Неравномерность коррозии по периметру анода, по-видимому, вызвана локальными неоднородностями в сплаве.

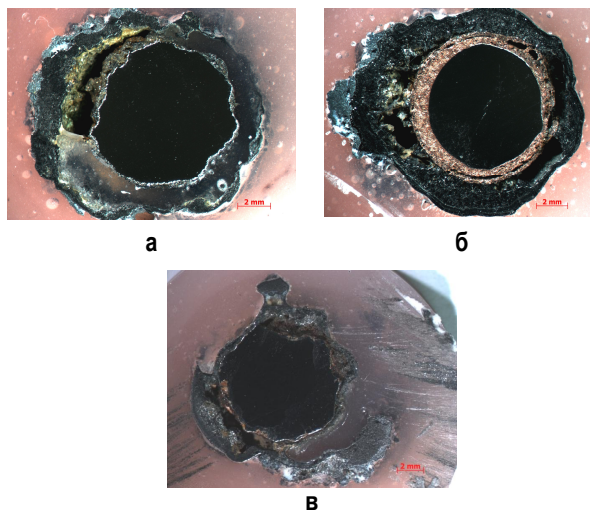


Рис. 3. Поперечное сечение образцов анодов Ж100 (а), М10 (б), А10 (в)

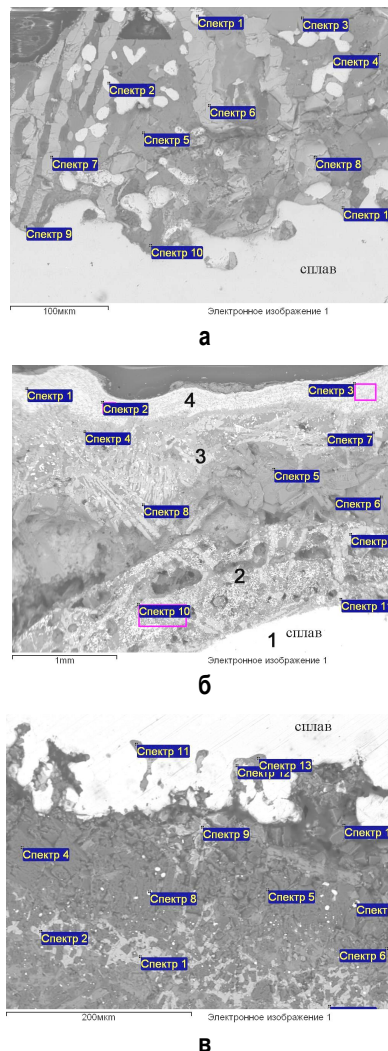


Рис.4. Электронно-микроскопические снимки образцов: а – Ж100; б – М10; в – А10. Точками и прямоугольниками обозначены места проведения рентгеноспектрального микроанализа

Таблица 2

Результаты микрорентгеноспектрального анализа

Спектр	O	F	Na	Al	K	Ca	Fe	
Образец Ж100 (области съемки приведены на рис. 4, а)								
Спектр 1							100.00	
Спектр 2							100.00	
Спектр 3	62.23			25.20			12.56	
Спектр 4		77.99	0.73	13.20	3.99	0.25	3.85	
Спектр 5		75.10	6.17	9.52	1.68	0.65	6.89	
Спектр 6		78.07		0.45			21.48	
Спектр 7		79.98		0.36			19.66	
Спектр 8		75.64		1.41			22.95	
Спектр 9		75.30		0.58			24.11	
Спектр 10		72.21	10.99	10.37	0.58	2.42	3.43	
Спектр 11		77.56					22.44	
Образец М10 (области съемки приведены на рис. 4, б)								
Спектр	O	F	Na	Al	K	Ca	Fe	Cu
Спектр 1	49.18			8.85			41.98	
Спектр 2	49.43			7.06			43.51	
Спектр 3	50.21			7.80			41.99	
Спектр 4	33.42	27.97		17.59			21.02	
Спектр 5		76.11	1.01	13.22	4.94		4.71	
Спектр 6		75.70	0.79	13.27	5.07		5.17	
Спектр 7		76.15		0.92	0.55	0.26	22.10	
Спектр 8		74.45					25.55	
Спектр 9		71.80		1.02			27.18	
Спектр 10	8.77	59.99		8.02	1.23		11.52	10.46
Спектр 11	8.46	56.67		4.52			17.11	13.23
Образец А10 (области съемки приведены на рис. 4, в)								
Спектр	O	F	Na	Al	K	Ca	Fe	
Спектр 1		75.12					24.88	
Спектр 2		79.28		12.67			8.06	
Спектр 3		79.38		0.63			19.99	
Спектр 4		79.17		20.83				
Спектр 5		79.57		20.43				
Спектр 6		80.27		19.73				
Спектр 7							100.00	
Спектр 8							100.00	
Спектр 9		76.06					23.94	
Спектр 10	26.98			8.09			64.93	
Спектр 11		72.99	12.07	9.25	0.32	0.24	5.13	
Спектр 12		74.14					25.86	
Спектр 13		67.78	2.45	17.05	6.14	0.35	6.23	

На рис. 4, а представлена структура приэлектродного слоя анода на основе железа (образец Ж100). Неровная граница металла, а также наличие отдель-

ных металлических областей в приповерхностном слое (спектры 1, 2) иллюстрирует неравномерную коррозию. Непосредственно у поверхности металла обнаруживается фторид железа – FeF₂ (спектры 9, 11) и области, заполненные электролитом (спектр 10). Слой фторида железа распространяется от металлической поверхности (спектры 6, 7, 8) к краю образца на глубину около 60 мкм. Спектры 4, 5 по составу соответствуют фториду алюминия (AlF₃) с небольшим содержанием компонентов электролита и фторида железа. В периферийной области (спектр 3) наблюдаются оксиды, вероятно, в форме шпинели FeAl₂O₄. После слоя фторидов наблюдаются оксиды (спектр 3), судя по данным РФА, в форме шпинели FeAl₂O₄ и гематита. В целом, слой вокруг анода не обладает однородностью и разделяется на области с различным химическим составом, включая металлические фрагменты коррозионного разрушения анода (спектр 1, 2).

В строении слоев, образованных на поверхности анода М10, отчетливо выделяются отдельные кольцевые зоны. При большем увеличении детализация зонального строения усиливается и можно различить, по крайней мере, четыре зоны: 1, 2, 3, 4 (см. рис. 4, б). Внешняя граница приэлектродной зоны состоит из сплошного оксидного слоя (рис. 4, б, спектры 1-3), вероятно, представляющего комбинацию шпинельных фаз и гематита. Медь на внешней границе и внутренних зонах не обнаруживается. Прилегающая к металлу внутренняя пористая деградационная зона 2 является результатом селективного анодного растворения и представляет мелкую «сетку-губку» меди и оксида меди, в ячейках которой находятся продукты травления: фторид железа, фторид алюминия и небольшое количество электролита (рис. 4, б, спектры 9, 10, 11). Металлические фрагменты «губки» сменяются сплошными слоями оксидов и фторидов. В целом можно заключить, что разрушение образца М10 идет по участкам металла, обогащенным железом. Железо в форме фторида выносится к периферии. Прилегающий к пористому слою сплошной слой содержит солевую смесь фторидов: фторид алюминия, фторид железа и компоненты электролита (рис. 4, б, спектры 5,6). Далее происходит обеднение фторидом алюминия, и следующий слой в основном состоит из фторида железа (рис. 4, б, спектры 7, 8).

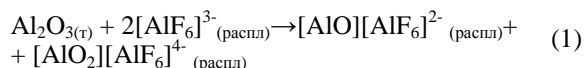
Сплав А10, содержащий алюминий, в наибольшей степени подвергся коррозии. Граница металла (см. рис. 3, в, 4, в) значительно разрушена и утратила цилиндрическую форму. Легирующий компонент в сплаве растворяется более быстро, чем основной. Об этом свидетельствуют металлические железные вкрапления в приэлектродной зоне (рис. 4, в, спектры 7, 8). Продукты коррозии не следуют строгому послойному чередованию. Большой частью приэлектродный слой представлен фторидом железа (рис. 4, в, спектры 1, 3, 9, 13) и фторидом алюминия (рис. 4, в, спектры 4, 5, 6), не разделенными резкой границей. В слой включены нерегулярные неоднородности из металла и оксидов (рис. 4, в, спектр 10). Вблизи поверхности металла наблюдается электролит, в составе которого имеется натрий, калий и кальций (рис. 4, в, спектры 11, 13).

Подобные результаты выявлены на всех исследованных образцах. Данные электронной микроскопии подтверждают, что разрушение анода вызвано проникновением на границу электрод/электролит и его взаимодействием с поверхностью анода с образованием фторида железа и фторида алюминия. По мере выноса фторида железа в периферийную зону, происходит его взаимодействие с оксифторидными частицами расплава с образованием фаз со шпинельной структурой и на окончательной стадии гематита, который локализуется во внешней приэлектродной зоне.

Легирующие элементы, вводимые в сплавы на основе железа в количестве 10 масс. %, проявляют различную активность при коррозии анода. Введение в сплав электроотрицательных элементов, таких как алюминий, титан и хром, приводит к активному растворению металлической основы сплава с образованием большего количества оксидов и шпинелей на основе этих элементов, составляющих до 70% состава поверхностного слоя. Алюминий при взаимодействии с оксифторидными ионами, помимо шпинелей и простых оксидов, приводит к образованию фторидов алюминия. Марганец оказывает пассивирующее действие, образуя нерастворимую оболочку оксидов на аноде [1]. Никель переходит в оксидную и фторидную фазы, с меньшими скоростями, чем железо, образуя слой с низкой проводимостью. Медь не взаимодействует с компонентами КГР и не образует оксидов и фторидов.

Механизмы и скорость коррозионного разрушения при электролизе могут определяться рядом факторов, среди которых наиболее значимым является высокотемпературный электролиз глинозема.

Электролитическое получение алюминия возможно благодаря растворению глинозема в криолите [8]. До настоящего времени не известен детальный механизм растворения [9]. Можно предположить, что при растворении происходит образование комплексных фторкислородных анионов алюминия по реакции:



Образующиеся кислородсодержащие комплексные анионы в сопровождении катионов переносятся к аноду, где происходит «разрядка» анионов при «окислении» кислорода:



Частицы $[\text{Al}][\text{AlF}_6]^0$, образуя комплекс с ионами Na^+ или K^+ , мигрируют к катоду:



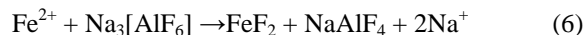
На катоде они восстанавливаются с выделением металлического алюминия:



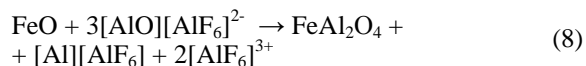
Высвободившиеся гексафторалюминатные ионы повторно участвуют в процессе растворения глинозема. В результате растворенный глинозем проделывает сложный путь, мигрируя сначала к аноду, а затем к

катоде в сопровождении гексафторалюминатных ионов и «компенсирующих» заряд катионов.

Коррозия на аноде выступает как сопровождающий процесс. Кислород не проникает к поверхности металла и не является причиной коррозии анода. Судя по обнаруженным фазам, коррозия возникает из-за электрохимической реакции: $\text{Fe}^0 \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$. В результате электродиффузионной миграции компоненты электролита проникают к аноду и взаимодействуют с ионами железа по обменной реакции типа:



В роли фторалюминатных частиц можно рассматривать анионы $\text{Na}_2[\text{AlF}_6]^-$ или нейтральные частицы NaAlF_4 [10]. Важно отметить, что соотношение F:Al не понижается ниже 3. Катион натрия, как наиболее подвижная частица, диффундирует из прианодного слоя в электролит. Дифторид железа образует кристаллическую фазу. Взаимодействие FeF_2 с оксифторидными ионами алюминия приводит к образованию шпинелей в более отдаленной зоне от поверхности анода:



Наблюдаемое окисление Fe^{2+} в Fe^{3+} может осуществляться выделяющимся кислородом, либо по электрохимической реакции с образованием магнетита и гематита.

Таким образом, вследствие электрохимической поляризации происходит окисление металлического железа в Fe^{2+} на поверхности анода. Образовавшиеся ионы взаимодействуют с проникающим к аноду электролитом. На поверхности анода в виде кристаллической фазы образуется дифторид железа, который далее взаимодействует с оксифторидными поляядерными комплексными анионами алюминия, давая железозалюминиевые шпинели. При дальнейшем окислении железа возникают магнетит и гематит. Оксидные фазы мигрируют на периферию анодного пространства, образуя уплотненный периферийный слой на электроде.

Список литературы

- Galasiu I., Galasiu R., Thonstad J. // Aluminium-Verlag Marketing and Kommunikation GmbH. Dusseldorf, 2007, P. 207.
- Характер и причины коррозионного разрушения инертных анодов при электролизе криолитглиноземного расплава / Ковров В.А., Шуров Н.И., Храмова А.П., Зайков Ю.П. // Изв. вузов. Цветная металлургия. 2009, №5. С. 46-54.
- Shi Zhong-ning, XU Jun-Li, Qui Zhu-xian Iron-nickel anodes for aluminum electrolysis // Light Metal. 2004. P. 333-337.
- Моделирование процессов анодного разрушения поверхности никелевых сплавов в условиях высокотемпературного электролиза / Т.Н. Дроздова, В.С. Биронт, В.В. Батурова, Ю.В. Ким, А.Л. Войнич // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени М.Ф. Решетнева. 2006.
- Разработка материалов для малорасходуемых (инертных) анодов / Самойлов Е. Н., Лайнер Ю. А., Левашов Е. А., Рохлин Л. Л., Дашевский В. Я., Рожков Д. Ю. // Сб. трудов 3-го Междунар. конгресса «Цветные металлы». Красноярск, 2011. С. 217-224.
- Xiao H. Studies on the corrosion and the behaviour of inert anodes in aluminum electrolysis // Metall. Mater. Trans. B, 27B(2). 1996. P. 185-193.
- Vassiliev S., Laurinavichute V., Abakumov A., Govorov V., Bendovskii E., Turner S., Filatov A., Tarasovskii V., Borzenko A., Alekseeva A., Antipov E. Microstructural Aspects of the Degradation Behavior of SnO₂

Based Anodes for Aluminum Electrolysis // Journal of The Electrochemical Society, 157 (5). 2010. С. 178-186.

8. Grjotheim K., Krohn C., Malinovsky M., Matiasovsky K., Thonstad J. Aluminium electrolysis Fundamentals of the Hall-Heroult process. 2nd edition // Aluminium-Verlag. Dusseldorf, 1982. P. 360.
9. Thonstad J., Fellner P., Haarberg G.M., Hives J., Kvande H., Sterten A.. Aluminium electrolysis Fundamentals of the Hall-Heroult process. 3rd edition // Aluminium-Verlag Marketing and Kommunikation GmbH. Dusseldorf, 2001. P. 355.
10. Kirik S.D., Zaitseva J.N. NaAlF₄: Preparation, crystal structure and thermal stability // J. Solid State Chem. 2010, 183. P. 431-436.

Bibliography

1. Galasiu I., Galasiu R., Thonstad J., (2007) Inert anodes for aluminium electrolysis. Aluminium-Verlag. Dusseldorf, 207
2. Character and causes of corrosion destruction of inert anodes in the electrolysis of cryolite-alumina melts / Kovrov V.A., Shurov N.I., Khranova A.P., Zaikov Y.P. // Non-ferrous metallurgy №5, 2009. 46-54
3. Shi Zhong-ning, XU Jun-Li, Qui Zhu-xian Iron-nickel anodes for aluminum electrolysis // Light Metal, 2004. P. 333-337.
4. Modeling of processes of destruction of the anode surface of the nickel-base alloys in high-temperature electrolysis / Drozdova T.N., Biront V.S.,

5. Baturova V.V., Kim Yu.V., Voynich A.L. // Bulletin of Siberian State Aerospace University named after MF Reshetnev. 2006
6. Development of materials for maloraskhoduemykh (inert) anodes / Samoilov E.N., Limer Yu.A., Levashov E.A., Rokhlin L.L., Dashevsky V.Y., Rozhkov D.Y. // Non-ferrous metals, III International Congress, 7-9 September 2011, Krasnoyarsk, 217-224
7. Xiao H. Studies on the corrosion and the behaviour of inert anodes in aluminium electrolysis // Metall. Mater. Trans. B, 27B(2). 1996. P. 185-193
8. Vasiliev S., Laurinavichute V., Abakumov A., Govorov V., Bendovskii E., Turner S., Filatov A., Tarasovskii V., Borzenko A., Alekseeva A., Antipov E., Microstructural Aspects of the Degradation Behavior of SnO₂-Based Anodes for Aluminum Electrolysis // Journal of The Electrochemical Society, 157 (5), 2010. P. 178-186
9. Grjotheim K., Krohn C., Malinovsky M., Matiasovsky K., Thonstad J., Aluminium electrolysis Fundamentals of the Hall-Heroult process. 2nd edition // Aluminium-Verlag. Dusseldorf, 1982. P. 360
10. Thonstad J., Fellner P., Haarberg G., Hives J., Kvande H., Sterten A., Aluminium electrolysis Fundamentals of the Hall-Heroult process. 3rd edition // Aluminium-Verlag Marketing and Kommunikation GmbH. - Dusseldorf. 2001, P. 355
10. Kirik S.D., Zaitseva J.N., NaAlF₄: Preparation, crystal structure and thermal stability // J. Solid State Chem. 2010, 183. P. 431-436

УДК 669.18.046.55

Ченгелия Р.К., Чевская О.Н., Зинько Б.Ф., Косырев К.Л.

РЕГУЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СТАЛИ НА ОСНОВЕ ИНГИБИТОРНОГО ЭФФЕКТА ФОРМИРОВАНИЯ ДИСПЕРСНЫХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ФАЗ ОПТИМАЛЬНОЙ МОРФОЛОГИИ

Разработаны параметры лабораторного эксперимента по выплавке стали категории прочности Х70, модифицированной оксидными фазами. Проведена лабораторная выплавка стали с тремя вариантами модифицирования. Показано, что применение магния и титана в качестве модификаторов позволяет повысить ударную вязкость металла околосварочной зоны при сварке.

Ключевые слова: трубная сталь, оксидные фазы, модифицирование, неметаллические включения.

Parameters of X70 steel, modified with oxide phases, have been developed. Three experimental heats have been done. It is shown that application of Mg and Ti as modifiers improves HAZ toughness.

Keywords: pipe steel, oxide phases, modification, non-metallic inclusions.

Введение

К металлу трубного сортамента, особенно предназначенному для изготовления труб большого диаметра, эксплуатирующихся в районах со сложными климатическими и геологическими особенностями (сейсмической активности или вечной мерзлоты), непрерывно предъявляются требования по повышению надежности и долговечности, которые обеспечиваются значениями таких показателей, как высокая прочность, относительное удлинение, низкотемпературная ударная вязкость, сопротивление вязкому и хрупкому разрушению и хорошая свариваемость. Этот комплекс свойств обеспечивается как химическим составом стали, так и режимами современной термомеханической прокатки с ускоренным охлаждением, определяющими заданное структурное состояние проката.

Современная технология производства высокопрочного проката (Х 80 и выше) встречает определенные сложности выполнения технических требований.

Известно, что неметаллические включения (их состав, форма, размеры и распределение) существенно влияют на формирование комплекса механических свойств. Включения неблагоприятного состава и формы (например, сульфиды и пластичные силикаты) отрицательно влияют на сопротивление разрушению металла труб. Особенно неблагоприятно наличие та-

ких включений в зоне термического влияния (ЗТВ) при сварке. С другой стороны, мелкие и тугоплавкие включения препятствуют росту зерна аустенита и тем самым положительно влияют на свойства металла.

Стабильные при высоких температурах неметаллические включения могут выступать в роли микро-терморегуляторов в расплаве с переохлажденной жидкостью, сдерживать образование больших зерен в металле и служить центрами зарождения фаз (феррита), а также влиять на их морфологию во время кристаллизации и аллотропических превращений в стали по мере ее остывания. Зарубежные исследования [1-4] подтверждают, что качество конечного продукта можно повысить за счет управления составом и размерами неметаллических включений. Речь идет о мелких тугоплавких оксидах, имеющих размер не более нескольких микрон, которые служат центрами выделения зарождающихся новых фаз. Для обозначения технологии управления дисперсностью и составом таких включений был предложен термин «оксидная технология» и разработаны основные концепции ее осуществления.

В зарубежных сталях, при производстве которых использовалась «оксидная технология», изучалось действие оксида титана, средний размер которого составляет 2-3 мкм. В большинстве случаев оксидные

частицы сосуществуют с другими, например TiN, и наблюдаются в форме сложных выделений. Для формирования равномерной структуры важно диспергировать выделения мелких частиц в стали, но алюминий, который имеет сильное сродство к кислороду, замедляет формирование частиц оксида титана. Поэтому необходимо не допускать глубокого раскисления стали алюминием.

Среди возможных путей решения таких задач может стать управление формой и составом неметаллических включений в стали на стадии сталеплавильного производства. Установлено, что в сталях с дисперсными оксидами титана сдерживается как рост собственно аустенитного зерна, так и происходит измельчение структуры после превращения [5, 6]. Внутризеренный феррит растет радиально от частиц оксида титана, как от зародышей, что и приводит к изменению его морфологии, т.е. получению игольчатого феррита (ИФ).

Детальный механизм, по которому образуется структура игольчатого феррита, пока не установлен. Основная концепция базируется на образовании оболочки из марганцовистых соединений на поверхности неметаллических включений с обеднением марганцем зоны вокруг включений. Некоторые исследования показали, что чистый оксид титана без MnO или других соединений марганца малоэффективен в качестве центра зарождения игольчатого феррита. По данным работы [7] наиболее подходящим размером для образования ИФ являются включения размером от 0,4 до 3 мкм. Размер зерна аустенита также влияет на объемную долю и возможность образования ИФ, объем которого возрастает с увеличением размера зерна аустенита и достигает пика при определенном размере зерна в зависимости от химического состава стали.

Для определения технологических параметров получения дисперсных оксидов необходимой формы в стали и возможности получения на этой основе структуры игольчатого феррита при оптимальных вариантах легирования и модифицирования была выявлена необходимость и разработаны параметры проведения лабораторного эксперимента.

Проведение эксперимента

В лабораторных условиях осуществлена выплавка стали категории прочности Х70 с тремя вариантами модифицирования. Технология выплавки металла в условиях ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» включала операции переплава шихты в индукционной печи ИСТ-0,03 с последующей доводкой металла до заданного химического состава.

Химический состав переплавляемой шихты представлен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав шихты, масс.%

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Ti	Al	Nb	V
0,05	0,26	0,73	0,001	0,004	0,43	0,08	0,16	0,013	0,023	0,031	0,037

Шихту расплавляли под слоем шлака CaO–CaF₂. По расплавлении в печь вводили раскислители и легирующие элементы. Выпуск металла производили в ковш с последующей разливкой в изложницы. Во время разливки в разные изложницы присаживали модификаторы по следующим вариантам:

- 1) титан (вариант 1, Ti);
- 2) титан и алюминий (вариант 2, Ti + Al);
- 3) титан и магний (вариант 3, Ti +Mg).

Химический состав полученных слитков представлен в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав готового металла, масс.%

№	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	Ti	Nb	Mg	N
1	0,065	0,23	1,64	0,006	0,002	0,42	0,084	0,16	0,009	0,009	0,020	0,059	<0,001	0,006
2	0,066	0,23	1,50	0,006	0,002	0,42	0,084	0,16	0,009	0,025	0,012	0,060	<0,001	0,007
3	0,067	0,23	1,58	0,006	0,002	0,42	0,083	0,16	0,009	0,010	0,016	0,059	0,002	0,007

Прокатку полученных слитков производили на лабораторном стане «Дуо-300» по режимам термомеханической прокатки с ускоренным охлаждением (УО), характерным для трубных сталей данного класса прочности.

Слитки были нагреты до 1200°С и прокатаны на полосу толщиной 12 мм. Режимы прокатки и ускоренного охлаждения слитков представлены в табл. 3. Режим ускоренного охлаждения варианта №3 отличается более низкой температурой конца УО и более высокой скоростью охлаждения.

Таблица 3

Режимы прокатки и ускоренного охлаждения слитков

Номер варианта	T _{черн} , °С	T _{чист} , °С	T _{нач УО} , °С	T _{кон УО} , °С	Скорость охлаждения, °С/с
1	1170	920	760	540	9
2	1170	920	770	540	10
3	1170	920	780	380	18

Механические свойства проката представлены в табл. 4.

Таблица 4

Механические свойства проката

Номер варианта	σ _в , МПа	σ _т , МПа	δ, %	KCV ⁻⁶⁰ , Дж/см ²
1	658; 657	470; 476	30,1; 28,5	136; 137; 121
2	651; 622	507; 510	28,9; 30,9	151; 181; 184
3	690; 660	492; 494	20,3; 20,9	154; 120; 130
Требования	≥590	≥460	≥20	Нет требований

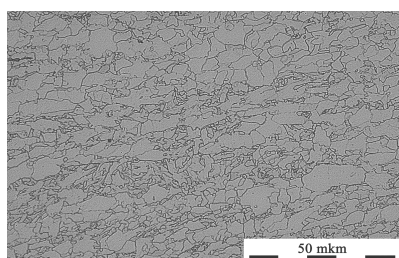
Достигнутые показатели механических свойств удовлетворяют требованиям к стали класса прочности К60. Весь исследуемый металл характеризуется высокими значениями ударной вязкости KCV при температуре -60°С. Более высокая прочность и некоторое снижение относительного удлинения и ударной вязкости в третьем варианте обусловлено более высокой скоростью охлаждения, что связано с появлением в

структуре большего объема прочной (бейнитной) составляющей.

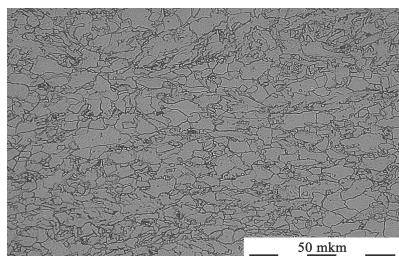
Металлографическое исследование формы и размеров неметаллических включений по вариантам выплавки проведено как в литом, так и в катаном металле.

При исследовании литого металла установлено, что при раскислении и легировании стали алюминием и титаном имеет место образование крупных неметаллических включений размером до 18 мкм, поверхность которых имеет развитую форму, отличную от сферической. При раскислении и обработке стали титаном и магнием неметаллические включения имеют стабильно округлую форму и меньшее количество включений с максимальным размером до 12 мкм (рис. 1).

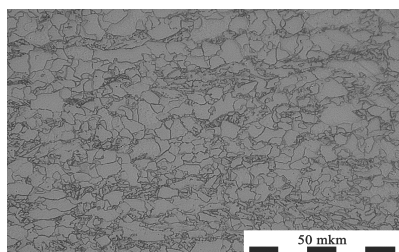
Исследование загрязненности неметаллическими включениями образцов катаного металла проводили по ГОСТ 1778 методом Ш1, по наиболее загрязненному месту шлифа, на микроскопе «Неофот» при увеличении x100. Контрольный образец (КО) – заводской металл, использованный в качестве шихты.



а



б



в

Рис. 1. Микроструктура (x500): а – режим 1; б – режим 2; в – режим 3

Чистота металла оценивалась на 7 шлифах под номерами: № 1-1; 1-2; 2-1; 2-2; 3-1; 3-2; контрольный

образец (КО). Первая цифра в номере образца обозначает вариант модифицирования, вторая – порядковый номер образца.

Результаты исследований представлены в табл. 5.

Таблица 5

Загрязненность неметаллическими включениями образцов трубной стали

Номер образца	Балл неметаллических включений						
	Оксиды строчечные (ОС)	Оксиды точечные (ОТ)	Сульфиды (С)	Силикаты пластичные (СП)	Силикаты недеформирующиеся (СН)	Силикаты хрупкие (СХ)	Нитриды (НТ)
1-1	-	-	-	-	4,0	-	-
1-2	-	-	-	-	4,0	-	-
2-1	-	-	-	-	3,0	-	-
2-2	-	-	-	1,0	3,0	-	-
3-1	-	-	-	-	3,0	-	-
3-2	-	-	-	-	3,0	-	-
КО					2,5		

В металле исследуемых образцов выявлены включения кислородного типа, преимущественно силикаты недеформирующиеся.

В образцах №1-1 и 1-2 по всему сечению наблюдаются равномерно распределенные недеформирующиеся силикаты от 1,0 до 4,0 балла. Форма включений глобулярная. В крупных силикатах (3,0-4,0 балл), которых больше, чем мелких, видно неоднородное строение включений. Можно предположить, что это многофазные оксидные частицы, поэтому требуется дополнительное микрорентгеноспектральное исследование.

Металл образцов №2-1 и 2-2 несколько чище – преобладают недеформирующиеся силикаты не более 3,0 балла. Причем форма включений не идеально глобулярная, как в образцах №1-1 и 1-2. В образце №2-2 выявлены единичные пластичные силикаты до 1,0 балла.

Наименьшая загрязненность установлена в образцах №3-1 и 3-2. Суммарное количество недеформирующихся силикатов меньше, чем в образцах групп 1 и 2. Здесь преобладают включения размером 1,0-2,0 балл. Максимальный размер силикатов достигает 3,0 балла.

Установлено, что наиболее чистым металлом по содержанию неметаллических включений являются образцы №3-1 и 3-2 с вариантом легирования Ti+Mg.

Микроструктура первых двух исследуемых вариантов проката похожа между собой (рис. 1, а, б) и состоит преимущественно из феррита с небольшим количеством второй фазы, предположительно бейнитной составляющей (до 15%), возможно также присутствие отдельных колоний перлита, феррит присутствует как в виде полигональных зерен (со средним размером 6-8 мкм), так и квазиполигонального типа с извилистыми границами.

Микроструктура проката варианта №3 отличается от двух предыдущих (рис. 1, в) наличием большей объемной доли (около 30%) бейнита, предположительно с участками игольчатого феррита. Таким обра-

зом, более высокие прочностные свойства, полученные в прокате варианта №3, подвергнутом более интенсивному ускоренному охлаждению, действительно связаны с большей объемной долей структуры бейнитного типа.

Для определения свариваемости стали проводили имитацию термических циклов сварки путем нагрева образцов до температуры 1350°C с последующими различными скоростями охлаждения. Оценку свариваемости образцов экспериментального металла различных вариантов модифицирования проводили по результатам испытаний на ударную вязкость при температуре -30°C.

Анализ испытаний на ударную вязкость (рис. 2) показывает, что в случае легирования и модифицирования стали по третьему варианту Ti+Mg ударная вязкость в диапазоне охлаждения 6-100°C/с возрастает в 1,3-1,5 раз.

Исследования микроструктуры показали, что величина аустенитного зерна вариантов 1 и 2 приблизительно одинакова в пределах 100-150 мкм, величина аустенитного зерна варианта 3 несколько больше. Основное отличие в микроструктуре исследуемых образцов (рис. 3) заключается в том, что для образца варианта 2 характерна преимущественно структура типа верхнего бейнита, для варианта 1 также характерна аналогичная структура с участками игольчатого феррита, в то время как для варианта 3 характерна структура игольчатого феррита с извилистыми границами и характерным взаимно пересекающимся направлением роста игл (пластин) феррита. По-видимому, это и определяет более высокие значения низкотемпературной вязкости в третьем варианте легирования и модифицирования.

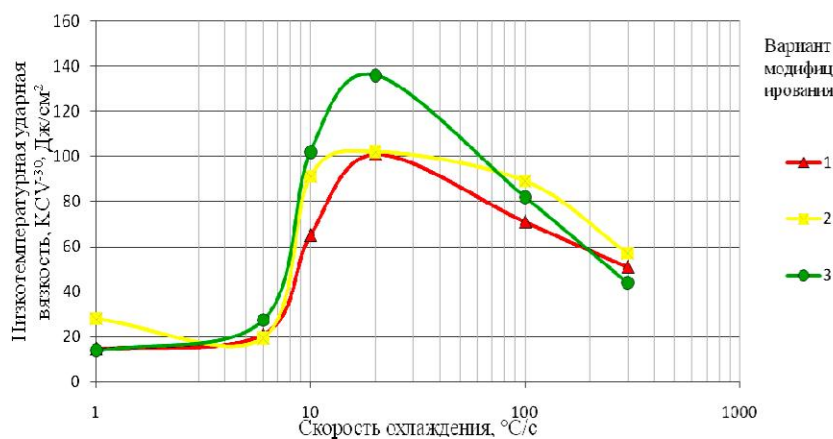


Рис. 2. Изменение значения низкотемпературной ударной вязкости в зависимости от скорости охлаждения при различных вариантах легирования и модифицирования стали

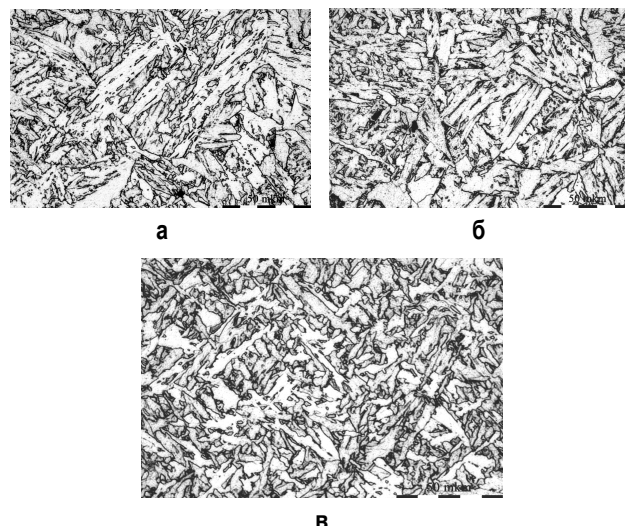


Рис. 3. Микроструктура околошовной зоны образцов 1 (а), 2 (б), 3 (в), x400

Таким образом, результаты лабораторных исследований вариантов легирования и модифицирования установили целесообразность проведения промышленных опытных плавов по двум вариантам «оксидной технологии»:

- с введением титана;
- с введением титана и магния.

Показано, что применение магния позволяет получить более высокие значения ударной вязкости в околошовной зоне металла.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение №14.В37.21.2044 «Разработка инновационных процессов получения и обработки сплавов с ультрамелкозернистой структурой и ультрадисперсными фазами».

Список литературы

1. H. Suito, H. Ohta, and S. Morioka: ISIJ Int., 2006, vol. 46, pp. 840–46.
2. H.K.D.H. Bhadeshia: Bainite in Steels, IOM Communications Ltd., London, UK, 2001, pp. 237–76.
3. J.S. Byun, J.H. Shim, Y.W. Cho, and D.N. Lee: Acta Mater., 2003, vol. 51, pp. 1593–1606.
4. S. Aihara, G. Shgesato, M. Sugiyama, and F. Lemori: Nippon Steel Technical Report, 2005, vol. 91, pp. 43–48.
5. M. Kivioe, L. Holappa and T. IUNG: Addition of Dispersoid Titanium Oxide Inclusions in Steel and Their Influence on Grain Refinement: Metallurgical And Materials Transaction, 2010, vol 41B.
6. A. Kojima, K Yoshii, T. Hada and Y. Shimura: Development of High HAZ Toughness Steel Plates for Box Columns with High Heat Input Welding: Nippon Steel Technical Report № 90 July 2004.
7. J.-H. Shim, Y.W. Cho, S.H. Chung, J.-D. Shim, and D.N. Lee: Acta Mater., 1999, vol. 47, pp. 2751–60.

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.74

Сушко Т.И., Щербаков А.С., Пашнева Т.В., Руднева И.Г.

АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ЛИТНИКОВО-ПИТАЮЩИХ СИСТЕМ ПРИ ЛИТЬЕ В КОКИЛЬ ПОСРЕДСТВОМ СКМ LVMFLOW

В работе проводился анализ различных вариантов литниково-питающих систем при литье в кокиль посредством СКМ LVMFlow.

Ключевые слова: литниково-питающие системы, литье в кокиль, компьютерное моделирование.

In this paper analysis of various options runner- supply systems for casting a chill through the SCM LVM Flow.

Keywords: gating- feeding systems, chill casting, computer modeling.

Одна из наиболее используемых для моделирования литейных систем и процессов на сегодняшний день является программа СКМ LVM Flow.

LVMFlow – профессиональная САМ-система компьютерного 3D моделирования литейных процессов, позволяющая автоматизировать рабочее место технолога – литейщика и существенно снизить затраты времени и средств на подготовку новых изделий. Имея в своём составе большое количество модулей, она позволяет достаточно детально и полно оценить эффективность разработанного рабочего проекта изготовления отливки.

Предприятие, предоставившее данные для исследования, ООО «Автолитмаш». Оно является достаточно молодым, тем не менее быстро прогрессирует и уже занимает определённую нишу в области изготовления изделий для сельскохозяйственной техники.

В прошлом году предприятие испытывало определённые трудности в производстве нового изделия, поступившего в разработку. Эта проблема могла быть решена как раз посредством моделирования нескольких рабочих проектов в САД-системе. Тем самым можно сохранить большие денежные средства на натуральных испытаниях.

В 2007 году частное воронежское предприятие ООО «Автолитмаш» получило заказ на производство партии латунных вкладышей для муфты сцепления. Латунный вкладыш используется для оправки коленвалов сельскохозяйственной техники, такой как тракторы и комбайны на базе шасси БМ – 102. Данное изделие должно длительно работать в условиях истирания при значительных скоростях скольжения и давления. Заданным сплавом стала кремнистая латунь ЛЦ14КЗС3 по ГОСТ 3.1125–88, недостатком которой является склонность к образованию горячих трещин при литье в кокиль. Готовое изделие весит 12,9 кг, оно должно иметь плотную, цельнолитую структуру без значительных дефектов. Трёхмерное изображение отливки представлено на рис. 1.

На предприятии к этому времени уже производилась номенклатура подобных изделий, но из другой латуни – ЛЦ40С, которая не склонна к образованию

горячих трещин и имеет лучшую жидкотекучесть среди специальных латуней. Решено было использовать ту же кокильную оснастку и для новой марки материала, несмотря на разницу литейных свойств сплавов. Первая же опытная партия выявила большое количество дефектов в нижней части отливки. В частности, в месте сопряжения тонкой стенки и массивного фланца наблюдались трещины и усадочные раковины. По нашему предположению, это происходило из-за нарушения принципа направленного затвердевания, т.е. неправильного расположения отливки в кокиле. Требовалось решить проблему этих дефектов как можно экономнее и в максимально короткие сроки. Для этого воспользовались программой СКМ LVMFlow.

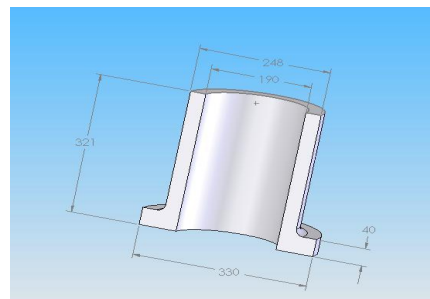


Рис. 1. Отливка «вкладыш»

Были спроектированы два возможных варианта ЛПС изготовления отливки с целью оценки влияния технологических факторов производства на качество отливки и установления причин, приводящих к дефектам. Также параллельно проводился сравнительный анализ базового варианта.

Для этого в конструкторской программе 3D-моделирования SolidWorks 2007 созданы новый и базовый проекты отливки и оснастки под них. Моделирование базового варианта показало, что основные технологические параметры были выбраны точно, так как результаты моделирования практически совпадали с реальными данными. В первом варианте дефекты выведены в прибыльную часть отливки путём изменения расположения отливки при заливке и увеличения прибыли на 40%. Во втором варианте напрямую

реализовывался принцип направленного и последовательного затвердевания посредством ведения разливки из специально изготовленной разливочной чаши. Начальные условия для моделирования: температура заливки расплава 960°C, кокиль под заливку подогревался до температуры 250°C, разделительное покрытие – канифольная краска. Полученные результаты представлены на рис. 2-4.

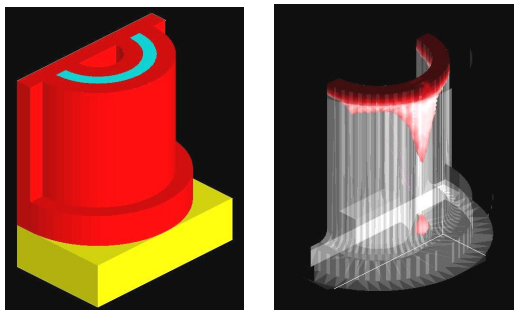


Рис. 2. Базовый вариант

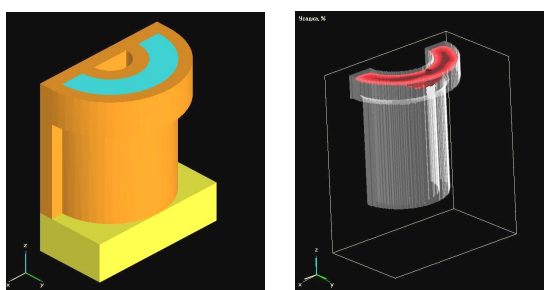


Рис. 3. Проект №1 с дефектами

Первый вариант показал, что образовалась концентрированная усадочная раковина в прибыльной части отливки, что недопустимо.

Во втором предложено использовать чашу из ХТС для разделения одного потока на множество небольших. При этом затвердевание отливки более спокойное, а расход металла на прибыли снижается на 60% из-за того, что сплав затвердевал равномерно, а питание осуществляется постоянно. Металл сливается из чаши полностью, а усадочные дефекты практически компенсированы прибылью.

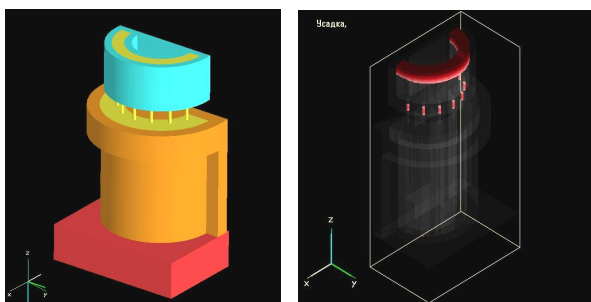


Рис. 4. Проект №2

Кроме того, для выявления оптимального температурного режима кокиля было проведено несколько вариантов заливки – происходило изменение температуры заливки (960, 970 и 980°C) и кокиля (250, 300, 350 и 400°C). Сравнивая температурные диаграммы

первого (рис. 5) и второго (рис. 6) вариантов, установили, что наиболее оптимальное охлаждение с градиентом температуры, равномерно распределённым по всему объёму, наблюдается во втором варианте, так как в этом случае отливка затвердевает постепенно во всём объёме и получается практически без дефектов.

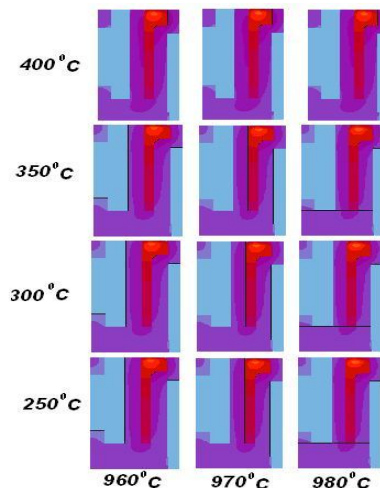


Рис. 5. Термические диаграммы первого варианта

Также количественная оценка температур с точки зрения процесса затвердевания показала, что наиболее оптимальным тепловым режимом заливки формы будет следующий: температура заливки 960°C и кокиля 350°C. Именно при таком режиме сохраняется равномерность затвердевания по всему объёму, обеспечивая снижение дефектов на стадии затвердевания.

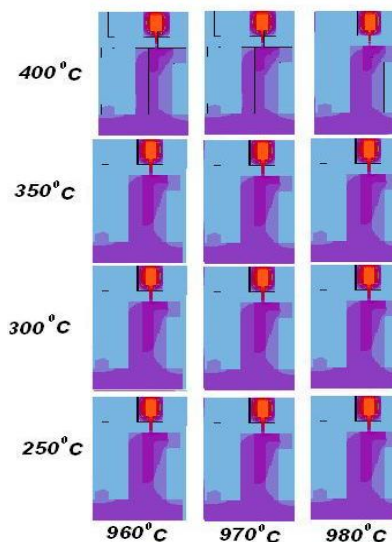


Рис. 6. Термические диаграммы второго варианта

Нагрев кокиля до 400°C снижает его срок службы. При температуре кокиля ниже 350°C наблюдается более сильный перепад температур в объёме отливки, что может привести к короблению.

В результате проведенного компьютерного моделирования получили следующие результаты и выводы:

1) путем компьютерного моделирования в СКМ ЛП LVMFlow оценили действующую на производстве

технологии изготовления латунной отливки «вкладыш» методом литья в кокиль на предмет выявления причин дефектов. Данная технология является далеко не идеальной, положительный результат получен;

2) разработанные варианты изготовления отливки «вкладыш» показали себя с лучшей стороны, так как превзошли по качеству и по экономичности базовый вариант.

3) по разработанным вариантам предложены следующие технологические рекомендации для совершенствования технологии изготовления отливки: температура заливки 960°C и кокиля 400°C;

4) посредством моделирования в СКМ ЛП LVMFlow и с учетом изменённого технологического процесса выявили влияние таких факторов на качество отливки, как температура заливки, температура кокиля, способ подвода металла в кокиль, влияние вида ЛПС на качество отливки;

5) показали возможности компьютерного моделирования как метода поиска оптимального варианта

получения латунной отливки «вкладыш».

При обеспечении соблюдения технологии и поддержании вышеуказанных параметров возможно получение отливки с минимальным количеством дефектов, а следовательно, и снижение затрат на производство этого изделия.

Список литературы

1. Экономика предприятия: учебник / С.К. Волков, Р.В. Воробьева и др.; под ред. С.К. Волкова. М.: АРТЭС, 1997. 120 с.
2. Смирнов Г.А. Неисчерпаемый кокиль // Техника молодёжи. 2003. №7. С. 21-24.
3. Воронков Б.Г., Турищев В.В. Выбор оптимальной системы моделирования литейных процессов // CADmaster. 2005. №2. С. 21-25.

Bibliography

1. Enterprise economics: a textbook / S.K. Volkov, R.V. Vorobjeva and others; ed. S.K. Volkov. Moscow: ARTES, 1997. P. 120.
 2. Smirnov G.A. Inexhaustible chill // Technology molodezhi. 2003. №7. P. 21-24.
 3. Voronkov B.G., Turishev V.V. Selecting the optimal system simulation of foundary processes // CAD master. 2005. №2. P. 21-25.
-

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.891: 519.242.7

Чукин М.В., Рааб А.Г., Семенов В.И., Асланян И.Р., Рааб Г.И.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛНОГО ФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА В ПРОЦЕССЕ ВОЛОЧЕНИЯ СО СДВИГОМ

С использованием компьютерного моделирования в среде пакета прикладных программ «DEFORM-3D» проведен виртуальный полный факторный эксперимент процесса волочения со сдвигом, в ходе которого выполнена оценка влияния независимых параметров (скорость волочения, скорость вращения фильеры, угол волоки и фактор трения) на величину интенсивности деформации. В результате эксперимента получено уравнение регрессии и определены наиболее значимые индивидуальные факторы и их взаимные сочетания, влияющие на параметр отклика. Кроме того, приведены сравнительные результаты процессов обычного волочения и волочения со сдвигом. Показана более высокая эффективность процесса волочения со сдвигом с точки зрения интенсивности деформации.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, волочение со сдвигом, виртуальный полный факторный эксперимент, матрица планирования, интенсивность деформации.

With the help of computer simulation in the software «DEFORM-3D» there was performed virtual complete factor experiment of the shear drawing process, in its course there was performed assessment of influence of independent parameters (drawing speed, die rotation speed, die angle and friction factor) on the strain intensity. As a result of the experiment there was derived a regression equation and were determined the most significant individual factors and their combination, which influence the response parameters. Also, there were represented the comparative results of processes of conventional drawing and shear drawing. There was demonstrated a higher efficiency of shear drawing process from the point of view of strain intensity.

Keywords: computer simulation, shear drawing, virtual complete factor experiment, planning matrix, deformation intensity.

Введение

В настоящее время наблюдается интерес к исследованиям в области повышения прочности металлов за счет измельчения структуры до субмикроструктурного (СМК) размера путем обработки в условиях интенсивной пластической деформации (ИПД) [1]. Одним из методов ИПД является равноканальное угловое прессование (РКУП) [2, 3] и его развитие – РКУП-Conform [4], разработанный для получения длинномерных заготовок с объемной СМК структурой и позволяющий создать предпосылки для практической реализации процесса ИПД.

Техпроцесс, основанный на измельчении структуры методом ИПД и реализованный на установке РКУП-Conform, является эффективным способом повышения прочности металлов и сплавов. Однако он имеет ряд недостатков:

1) многоцикловая обработка для получения высоких значений накопленной деформации обрабатываемого материала;

2) получение длинномерных прутков квадратного сечения;

3) введение дополнительной постдеформационной обработки, например волочения для получения прутков круглого сечения.

Для устранения перечисленных недостатков предложен способ волочения со сдвигом. Деформация, сопровождаемая изменением механических свойств металла, реализуется за счет волочения и вращения эксцентриковой волоки, что обеспечивает дополнительную деформацию сдвига [5].

Описание поведения и прогнозирования процесса волочения со сдвигом затруднено отсутствием доста-

точного количества натуральных экспериментов, так как работа над физическим экспериментом является довольно затратной как по времени, так и по капитальным вложениям.

В научной и практической деятельности значительное место занимают численные методы изучения сложных процессов, включающие компьютерное моделирование с использованием новейших программных продуктов. Эффективность использования методов моделирования и решения инженерных задач значительно возрастают, если на стадии, предшествующей проектированию реального технологического процесса, создаются условия для оценки значимости наиболее важных параметров.

Применение математических методов является одним из наиболее рациональных подходов к решению задач по оценке эффективности нестандартных процессов обработки давлением. В связи с этим представляется целесообразным проведение численного моделирования с использованием планирования виртуального полного факторного эксперимента (ПФЭ) [6].

Достоинством ПФЭ является способность описания процесса при полном соблюдении алгоритма физического эксперимента с учетом установленных допущений. ПФЭ наиболее легко реализуем среди многочисленных методов физического эксперимента. При использовании ПФЭ целью является получение линейной математической модели процесса, которая позволит определиться с дальнейшей стратегией проведения реального эксперимента.

Таким образом, целью моделирования является проведение виртуального процесса волочения со сдвигом с использованием ПФЭ и выявление наибо-

лее эффективных условий для получения длинномерных СМК полуфабрикатов.

Методика исследования

Для получения возможно более полной информации об изучаемых зависимостях при выполнении моделирования авторы воспользовались ПФЭ. Планирование эксперимента – это процедура выбора числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для получения математической модели процесса [7]. При этом важно учитывать следующее: стремление к минимизации числа опытов; одновременное варьирование всех переменных, определяющих процесс; выбор четкой стратегии, позволяющей принимать обоснованные решения после каждой серии экспериментов. Перед проведением планирования натурального эксперимента необходимо собрать дополнительную информацию об исследуемом объекте, для получения которой используются навыки и знания, которые получены ранее в предыдущих исследованиях или описаны в литературе [8].

Планирование эксперимента было проведено по способу получения длинномерных прутков круглого сечения из низкоуглеродистой стали. Устройство волочения со сдвигом состоит из двух эксцентриковых волок, одна из которых вращается [5]. Схема представлена на рис. 1.

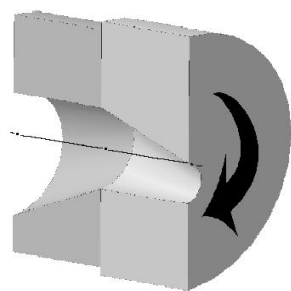


Рис. 1. Фильеры для волочения со сдвигом

Объект исследования – низкоуглеродистая сталь с содержанием углерода 0.1%, реологические свойства которой были заложены при разработке численной модели [9].

Для реализации процедуры численного моделирования использовали стандартный пакет прикладных программ (ППП) «DEFORM-3D».

С целью проведения моделирования и факторного эксперимента в ППП «DEFORM-3D» предварительно были созданы объемные модели фильер в программном продукте «Компас-3D» с различными углами рабочей части.

Принятые допущения

1) материал заготовки в исходном состоянии является изотропным и в нем отсутствуют начальные напряжения и деформации;

2) температуру среды деформирования принимали равной 20°C;

3) инструмент является абсолютно жестким, и учет геометрии инструмента производится автоматически;

4) материал исходной заготовки принимали пластичным;

5) для моделирования было выбрано 100 шагов, учитывающих полное прохождение заготовки в фильерах и получение стабильного результата;

6) заготовка разбита на 43553 трапециевидных элементов.

На стадии подготовки задачи моделирования считаем, что наиболее значимыми факторами, влияющими на интенсивность деформации при волочении со сдвигом при комнатной температуре, являются угол фильеры, скорость волочения, скорость вращения фильеры вокруг оси и трибологические параметры контакта заготовки с инструментом. В связи с этим решено провести виртуальный ПФЭ с использованием двухуровневой модели с четырьмя неизвестными по числу переменных факторов с последующей формализацией полученных результатов в виде уравнения регрессии и оптимизацией выбранных факторов.

Таким образом, в качестве независимых переменных в процессе волочения со сдвигом, характеризующих выполнение процесса и его эффективность, с точки зрения интенсивности деформации выбрали скорость волочения проволоки V (X_1), скорость вращения фильеры ω (X_2), угол волокна α (X_3), и фактор трения f_{mp} (X_4). Параметром отклика (или зависимой переменной) определили интенсивность деформации материала (Y).

Факторы варьировали на двух уровнях. Интервалы варьирования переменных факторов и их значения в натуральном масштабе указаны в табл. 1.

Таблица 1

Уровни факторов

Факторы	X_1 (V , м/мин)	X_2 (ω , мин ⁻¹)	X_3 (α , град)	X_4 (f_{mp})
Основной уровень (X_i)	20	350	15	0,50
Интервал варьирования (ΔX_i)	10	50	5	0,25
Верхний уровень ($x_i = 1$)	30	600	20	1
Нижний уровень ($x_i = -1$)	10	100	10	0

Количество опытов N определяли по количеству факторов k в соответствии с выражением

$$N = 2^k = 2^4 = 16. \quad (1)$$

Требуется определить такие значения V , ω , α , f_{mp} , при которых будет обеспечено получение интенсивности деформации ε в диапазоне значений от 1 до 3 ($1 \leq \varepsilon \leq 3$).

Результаты эксперимента и их обсуждение

Математическая модель после реализации опытов полного факторного эксперимента имеет вид

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + \dots + b_{123}x_1x_2x_3 + b_{124}x_1x_2x_4 + \dots + b_{1234}x_1x_2x_3x_4, \quad (2)$$

где b_i – коэффициенты регрессии.

Для расчета коэффициентов этой модели построили расширенную матрицу планирования и результатов опытов (табл. 2).

Таблица 2

Расширенная матрица плана 2⁴ и результатов опыта

Номер опыта	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₁ X ₄	X ₂ X ₃	X ₂ X ₄	X ₃ X ₄	X ₁ X ₂ X ₃	X ₁ X ₂ X ₄	X ₁ X ₃ X ₄	X ₂ X ₃ X ₄	X ₁ X ₂ X ₃ X ₄	y
1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0,30
2	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	-	0,70
3	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-	0,90
4	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	+	0,50
5	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	0,50
6	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	0,90
7	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	0,60
8	+	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-	0,70
9	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	0,40
10	+	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-	+	1,50
11	+	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	+	1,10
12	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	-	1,20
13	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+	+	+	0,70
14	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	+	-	0,90
15	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	1,30
16	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	1,00

Коэффициенты регрессии рассчитывали по формуле

$$b_i = \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i}{N}, \tag{3}$$

где $i = 0, 1, 2, \dots, 16$.

На основании вычислений получили следующий общий вид линейного уравнения регрессии:

$$y = 0,825X_0 + 0,0125X_1 + 0,2X_2 - 0,1125X_3 - 0,075X_4 - 0,1625X_1X_2 - 0,05X_1X_3 + 0,175X_1X_4 - 0,0125X_2X_3 + 0,05X_2X_4 - 0,0375X_3X_4 + 0,05X_1X_2X_3 - 0,0875X_1X_2X_4 + 0,0X_1X_3X_4 + 0,0625X_2X_3X_4 + 0,0X_1X_2X_3X_4. \tag{4}$$

В результате реализации двухуровневой четырехфакторной модели ПФЭ и определения статистической значимости каждого из 16 коэффициентов [10] уравнение регрессии (4) приняло вид

$$y = 0,825X_0 + 0,2X_2 - 0,1125X_3 - 0,075X_4 + 0,1025X_1X_2 + 0,175X_1X_4 - 0,0875X_1X_2X_4 + 0,0625X_2X_3X_4. \tag{5}$$

При этом гипотеза об адекватности математической модели (5) по критерию Фишера [6] при 5%-ном уровне значимости не отвергается.

Из уравнения (5) видно, что наиболее значимое влияние на величину интенсивности деформации оказывают скорость вращения фильеры, угол волоки и фактор трения, а также совместное взаимодействие скорости волочения и скорости вращения фильеры; скорости волочения и фактора трения; скорости волочения, скорости вращения фильеры и фактора трения; скорости вращения фильеры, угла волоки и фак-

тора трения. Совместное взаимодействие остальных факторов оказывает незначительное влияние на величину интенсивности деформации. Установлено, что с увеличением скорости вращения фильеры и уменьшением угла волоки и фактора трения интенсивность деформации возрастает. Также параметр отклика возрастает при одновременном увеличении скорости волочения и скорости вращения фильеры. Более существенное влияние на интенсивность деформации оказывает совместное увеличение скорости волочения и фактора трения. В гораздо меньшей степени прогнозируется влияние на интенсивность деформации одновременно трех из рассмотренных в данной постановке независимых переменных: скорости волочения, скорости вращения фильеры и фактора трения, а также скорости вращения фильеры, угла волоки и фактора трения. При этом их суммарное действие разнонаправлено. Поэтому сложные взаимодействия следует анализировать отдельно и с привязкой к конкретным условиям эксплуатации многокомпонентной системы.

Из уравнения (5) видно, что сама по себе скорость волочения оказывает слабое влияние на интенсивность деформации, но в сочетании со скоростью вращения фильеры, углом волоки и контактными условиями в пластическом трибосопряжении может эффективно повышать интенсивность деформации.

Отсюда следует, что максимальную величину интенсивности деформации можно получить при оптимальном сочетании скорости волочения с другими независимыми параметрами, рассмотренными в данном исследовании.

Для более наглядного анализа полученной математической модели построили диаграмму влияния факторов на интенсивность деформации (рис. 2).

Таблица 3

Из рис. 2 видно, что интенсивность деформации увеличивается с увеличением скорости вращения волокна. Сочетание скорости деформации со скоростью вращения фильеры оказывает существенное влияние на параметр отклика. Из этого следует, что эффективность процесса волочения со сдвигом зависит от синхронизации этих двух параметров, которые необходимо рассматривать совместно при проектировании технологического процесса. Из рис. 2 также видно, что угол волокна и фактор трения, как индивидуальные параметры, должны уменьшаться для увеличения интенсивности деформации. В то же время, из анализа парных и тройных эффектов взаимодействия (X_1X_4 , $X_1X_2X_4$, $X_2X_3X_4$), видно, что фактор трения и угол волокна в сочетании со скоростью волочения и скоростью вращения волокна оказывают значительное и неоднозначное влияние на интенсивность деформации, что также необходимо учитывать при проектировании технологического процесса волочения со сдвигом.

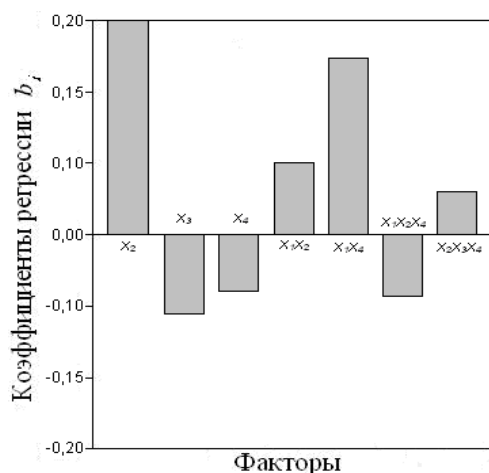


Рис. 2. Влияние значимых факторов и их взаимодействий: отрицательные значения – при уменьшении фактора увеличивается параметр отклика; положительные значения – при увеличении фактора увеличивается параметр отклика

Представляет практический интерес решение оптимизационной задачи по определению фактических значений независимых параметров, рассмотренных в виртуальном эксперименте численного моделирования, обеспечивающем максимальное значение интенсивности деформации при волочении со сдвигом. Эту задачу решали методом «крутого восхождения» [6].

Шаги в изменении факторов рассчитывали в натуральном масштабе. Для этого вначале определили произведения коэффициентов на соответствующие интервалы варьирования факторов, т.е. $b_i\Delta X_i$, затем пропорционально этим произведениям назначили шаги. Последовательность реализации этапов крутого восхождения представлены в табл. 3.

Крутое восхождение

Факторы	X_1 (скорость волочения, м/мин)	X_2 (скорость вращения волокна, мин ⁻¹)	X_3 (угол волокна, град)	X_4 (фактор трения)	у (интенсивность деформации)
b_i	0,0125	0,20	- 0,1125	- 0,075	
$b_i\Delta X_i$	5	10,00	- 0,5625	- 0,019	
Шаг	10	20	- 1,125	- 0,038	
Шаг после округления	10	50	- 2,0	- 0,05	
Основной уровень (X_i)	20	350	15	0,50	
Мысленный опыт	15	100	20	0,45	
Реализованный опыт	15	150	18	0,40	0,90
Мысленный опыт	15	200	16	0,35	
Мысленный опыт	15	250	14	0,30	
Реализованный опыт	15	300	12	0,25	0,70
Мысленный опыт	15	350	10	0,20	
Мысленный опыт	15	400	20	0,15	
Реализованный опыт	15	300	18	0,10	1,20
Мысленный опыт	15	500	16	0,12	
Реализованный опыт	15	500	16	0,12	1,60
Мысленный опыт	15	550	14	0,15	
Реализованный опыт	15	600	12	0,10	0,70
Мысленный опыт	15	600	10	0,05	

*Значение $b_i\Delta X_i$ для X_1 (скорость волочения) установлено априорно из-за необходимости синхронизации данного фактора с другими независимыми значимыми параметрами, принятыми к рассмотрению. При этом шаг выбран произвольно из технологических соображений.

Некоторые из мысленных опытов реализовали в компьютерной модели (табл. 4). Планирование эксперимента с использованием метода крутого восхождения показало, что в рассматриваемых условиях интенсивность деформации будет наибольшей при высокой скорости вращения фильеры ($\omega \approx 500 \text{ мин}^{-1}$), малом угле волокна ($\alpha \approx 16^\circ$) и снижающемся факторе трения ($f_{mp} \rightarrow \text{min}$). При этом осевая скорость волочения (V), из-за малого влияния на интенсивность деформации в качестве индивидуального параметра, была принята постоянной и равнялась 15 м/мин.

В рамках поставленной задачи исследования нами получены оптимизированные численные значения варьируемых параметров, соответствующие требуемому значению интенсивности деформации ($\epsilon \geq 1,5$).

Моделирование процесса волочения со сдвигом в среде «DEFORM 3D» было проведено со следующими параметрами:

Фактор трения (по Зибелю)	0,12
Угол волокна, град	16
Скорость волочения, м/мин	15
Скорость вращения фильеры, мин ⁻¹	500

Ниже представлены результаты численного моделирования по оптимизированным значениям, полученным в процессе проведения виртуального ПФЭ.

Анализ деформированного состояния заготовки после волочения со сдвигом показывает, что наиболь-

шее значение ϵ достигается на поверхности заготовки (рис. 3, б), так как там происходит наибольшая деформация металла, связанная с геометрией волок и вращением одной из них.

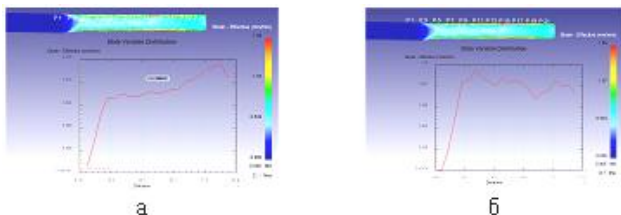


Рис. 3. Картина распределения интенсивности деформации в процессе волочения со сдвигом: а – в продольном сечении на оси; б – в продольном сечении на поверхности

Для оценки величин интенсивности деформаций за один цикл обработки был проведен анализ процессов волочения со сдвигом и обычного волочения.

Из распределения интенсивностей деформаций (рис. 4) видно, что за один цикл волочения со сдвигом достигаются большие значения, чем за один цикл обычного волочения.

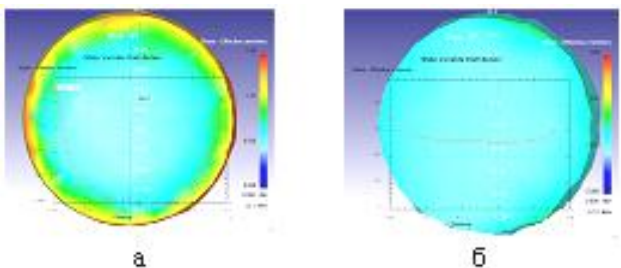


Рис. 4. Картина интенсивности деформации в поперечном сечении: а – процесс волочения со сдвигом; б – обычное волочение

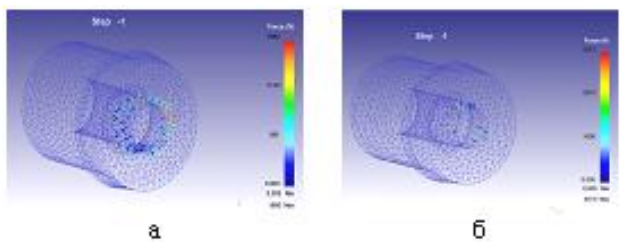


Рис. 5. Распределение нормальных сил на деформирующем инструменте: а – волочение со сдвигом; б – обычное волочение

Исследование нормальных сил на инструменте показывает что, при вращении волоки силы, воздействующие на инструмент, снижаются почти в 2 раза, что расширяет номенклатуру сталей для изготовления инструмента и может способствовать удешевлению процесса (рис. 5).

Выводы

1. Виртуальный ПФЭ методом крутого восхождения в процессе численного моделирования позволил определить оптимальные числовые значения независимых параметров, обеспечивающих максимальную величину интенсивности деформации при комнатной температуре. Для получения $\epsilon \approx 1,6$ необходимо обеспечить скорость вращения волоки $\omega \approx 500 \text{ мин}^{-1}$, угол волоки $\alpha \approx 16^\circ$ и фактор трения $f_{mp} \approx 0,12$ при скорости волочения $V = 15 \text{ м/мин}$.

2. Сравнительный анализ процессов волочения со сдвигом и обычного волочения стали 10 при комнатной температуре позволяет снизить силы волочения почти в 2 раза, повысить максимальные значения интенсивности накопленных деформаций с 0,5 до 1,6 и, кроме того, снизить нормальные силы на инструменте в 1.8 раза.

Работа выполнена в рамках проекта № 11-08-97038-р_поволжье_а, поддержанного РФФИ и АН РБ.

Список литературы

1. Валиев Р.З. Александров И.В. Объемные наноструктурные металлические материалы: получение, структура и свойства. М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. 398 с.
2. Процессы пластического структурообразования металлов / Сегал В.М., Резников В.И., Копылов В.И. и др. Минск: Наука и техника, 1994. 232 с.
3. Segal V.M. Engineering and commercialization of equal channel angular extrusion // Mater. Sci. Eng. A. 2004; V. 386. P. 269-276
4. Рааб Г.И., Валиев Р.З. Равноканальное угловое прессование длинномерных заготовок // Цветная металлургия. 2000. №5. С. 50-53.
5. Пат. 2347633 Российская Федерация. Способ получения ультрамелкозернистых полуфабрикатов волочением со сдвигом / Рааб Г.И., Рааб А.Г.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО УГАТУ. Опубл. 27.02.2009.
6. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. М.: Машиностроение; София: Техника, 1980. 304 с.
7. Адлер Ю.П. Предпланирование эксперимента. М.: Знание, 1978. 72 с.
8. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента. М.: Металлургия, 1969. 158 с.
9. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин и др. М.: Машиностроение. 1989. 640 с.
10. Славутский Л.А. Основы регистрации данных и планирования эксперимента: учеб. пособие. Чебоксары: Изд-во ЧГУ, 2006. 200 с.

Bibliography

1. Valiev R.Z., Alexandrov I.V., «Bulk Nanostructured Metallic Materials: Production, Structure and Properties», 2007, Akademkniga Pub., Moscow, 398 p., ill.
2. Segal V.M., Reznikov V.I., Kopylov V.I. «Plastic structure formation processes of metals», 1994, Minsk: Science and Technology, 232 p.
3. Segal V.M. Engineering and commercialization of equal channel angular extrusion // Mater. Sci. Eng. A. 2004; V. 386. P. 269-276
4. Raab G.I., Valiev R.Z. Equal channel angular pressing of long workpieces. Non-ferrous metals-2000ю № 5, p. 50-53
5. Patent № 2347633 Method of ultrafine semi-drawing with a shift. Published 27/02/2009 Authors: Raab G.I., Raab A.G., Patent holder: USATU
6. Novick F.S., Arsov J.B. Process optimization technology metals by planning of experiments.-M.Mashinostroenie, Sofia: Technique. 1980. 304 p.
7. Adler J.P. Design of experiments. M.: Znanie. 1978. 72 p.
8. Adler J.P. Introduction to design of experiments. Moscow: Metallurgy. 1969. 158p.
9. Database of steels and alloys / V.G. Sorokin, A.V. Volosnikova, S.A. Vyatkin etc. Mashinostroenie. 1989. 640 p.
10. Slavutsky L.A. Fundamentals of data acquisition and experimental design: the manual. Cheboksary publ. ChSU, 2006. 200 p.

Телегин В.Е., Голубчик Э.М., Смирнов П.Н., Курбан В.В., Денисов С.В.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ХОЛОДНОКАТАНОЙ ЛЕНТЫ ДЛЯ МОНЕТНОЙ ЗАГОТОВКИ

Рассмотрены особенности технологии производства холоднокатаной ленты для монетной заготовки. Проанализированы возможности применения принципа технологической адаптации при конструировании многовариантной технологической системы. Представлены результаты исследований изменчивости качественных показателей ленты в зависимости от технологических факторов.

Ключевые слова: холоднокатаная лента, монетная заготовка, качество, твердость, шероховатость, адаптация.

The special features of the technology of the production of cold-rolled tape for the monetary billet are examined. The possibilities of applying the principle of technological adaptation with the construction of multivariant technological system are analyzed. The results of studies of the changeability of the quality indicators of tape in the dependence on the technological factors are represented.

Keywords: cold-rolled tape, monetary billet, quality, hardness, roughness, the adaptation.

На сегодняшний день, одним из широко востребованных видов металлопродукции, как правило, эксклюзивным для крупных металлургических предприятий является стальная холоднокатаная лента, используемая в различных отраслях народного хозяйства: автомобилестроении, строительстве, а также в производстве товаров народного потребления. Одним из примеров можно считать холоднокатаную ленту, предназначенную для высокоскоростной холодной вырубки монетных заготовок, производимую в ЛПЦ-8 ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК»). В настоящее время все большее развитие получает ситуация, когда показатели качества выпускаемой ленты нормируются не только и не столько нормативными документами (стандартами), но также и дополнительными требованиями потребителей. При этом, зачастую требования потребителей либо не сочетаются с положениями стандартов, либо являются труднодостижимыми в процессе производства и переработки продукции с глубокой степенью переработки, к которой можно отнести и холоднокатаную ленту. Это диктует необходимость проведения оперативного анализа возможностей производства, поиска новых путей конструирования технологических схем изготовления такой продукции и, соответственно, разработки и активного внедрения новых подходов, например адаптационных моделей.

Отсутствие на отечественных металлургических предприятиях разработанных технологий производства ленты для монетной заготовки способствовало развитию ситуации в России с нехваткой десятирублевых монет, производство которых в массовом порядке началось с 2009 г. взамен снятых с производства бумажных купюр.

Данная лента должна обладать уникальным комплексом свойств, сочетающих ограниченный диапазон твердости HR15T в 72-76 единиц, низкую шероховатость поверхности $Ra \leq 0,8$ мкм, а также высокую точность изготовления по толщине $0 / -0,06$ мм. Набор указанных жестко регламентированных свойств обусловлен следующим. Ограничение низких значений твердости связано с необходимостью снижения износа инструмента при чеканке готовых монет. Достаточно низкая шероховатость поверхности обусловле-

на тем, что в процессе переработки в монетную заготовку лента подвергается операции нанесения покрытия (никелирование). Что касается высокой точности по толщине ленты, то данный аспект вызван предъявляемыми требованиями к массе и геометрии заготовки для монет.

Традиционные подходы к разработке технологии производства холоднокатаной ленты с указанным набором потребительских свойств в условиях многовариантных технологических систем, к которым можно отнести технологию в ЛПЦ-8, являются малоэффективными, так как предусматривают затратный метод «проб и ошибок» и не позволяют оперативно осуществлять «перестройку» технологии при изменении или корректировке требований заказчика. Кроме того, не достаточно полно учитываются ресурсы и возможности отдельно взятой технологической операции. Учеными ФГБОУ ВПО «МГТУ им.Г.И. Носова» совместно со специалистами ОАО «ММК» был разработан новый подход к конструированию многовариантных технологий изготовления металлопродукции с высокой добавленной стоимостью с применением принципов технологической адаптации [1-2]. Под термином «технологическая адаптация» понимается процесс целенаправленного изменения технологической системы в соответствии с определенными критериями приспособления ее структуры и функций к условиям внешней среды, обеспечивающих достижение целей системы (ожидания потребителей, требования нормативной документации).

Рассматриваемый подход предусматривает оценку технико-технологических возможностей предприятия на стадии принятия заказа, анализ технологических факторов (по переделу), влияющих наибольшим образом на изменчивость качественных показателей конечной продукции и наиболее эффективное воздействие на данные факторы для достижения целей системы.

Процесс разработки технологии производства холоднокатаной ленты для монетной заготовки проводился на основе комплексных исследований по выбору химического состава стали, режимов горячей и холодной прокатки, режимов термообработки и дрессировки ленты. При этом в качестве значимых были

выбраны следующие технологические факторы:

- уровень механических свойств горячекатаного подката, определяемый химическим составом стали, а также температурно-деформационными режимами горячей прокатки полосы и ее смотки в рулон;
- набор и последовательность технологических операций переработки горячекатаного рулонного подката в холоднокатаную ленту конечных размеров;
- уровень технологических параметров обработки металлопроката на каждой операции.

Для производства холоднокатаной ленты, предназначенной для изготовления монетной заготовки, на основе применения модели технологической адаптации был разработан алгоритм оценки возможностей многовариантной технологии с точки зрения достижения требуемого уровня свойств. Данный алгоритм представлен на рис. 1.

Ключевым моментом данного подхода является выбор вариантов адаптации и их проверка методом физического эксперимента, либо математического моделирования на основе полученных регрессионных уравнений.

При этом были выделены три возможных элемента технологической адаптации:

- A_1 – адаптация технологической схемы (набор операций);
- A_2 – адаптация технологических режимов в данной операции;
- A_3 – адаптация требуемого набора параметров в исходном состоянии (в данном примере, в горячекатаном подкате для производства ленты).

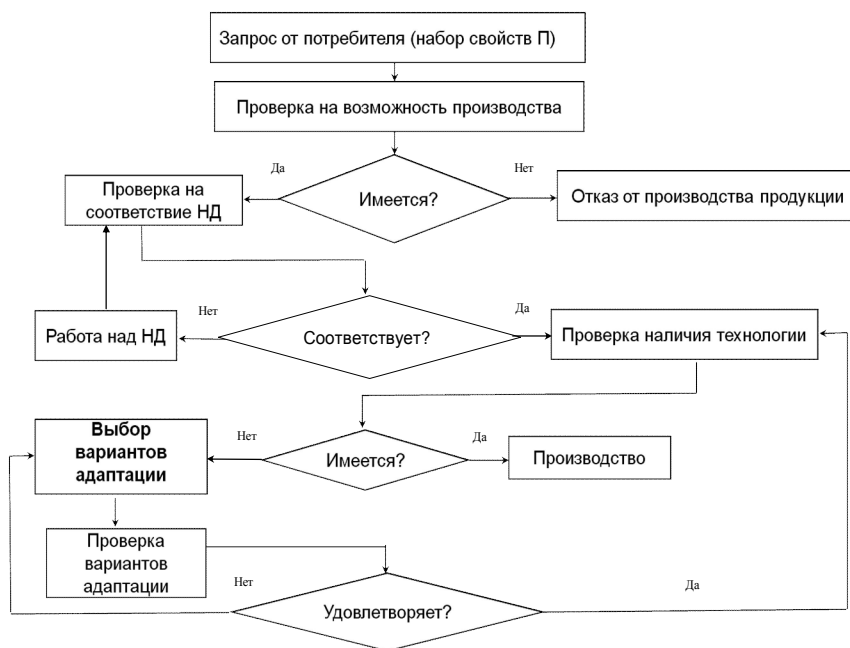


Рис. 1. Алгоритм технологической адаптации при изготовлении холоднокатаной ленты для монетной заготовки

Общее уравнение регрессии, учитывающее многовариантность рассматриваемой системы, помимо основных характеристик химического состава и горячей прокатки, содержит параметры максимально воз-

можного количества холодных прокаток ($n = 3$) и термообработок ($k = 4$), а также параметры операции дрессировки ленты.

В рассматриваемом случае использовался вариант адаптации, основанный на многолетней практике изготовления ленты из низкоуглеродистых марок стали и не предусматривающий корректировку схемы производства ленты. Соответственно учитывались параметры только одной прокатки и одной термообработки.

$$\begin{aligned}
 HR15T = & 215,3 \cdot C - 21,2 \cdot Nb + 129 \cdot Mn - \\
 & - 419 \cdot Al - 21,2 \cdot Ln(Ti) - 0,034 \cdot T_{cm} - \\
 & - 0,06 \cdot T_{отж1} + 2,4 \cdot \varepsilon_{np1} - 0,076 \cdot \tau_{отж1} + \\
 & + 7,4 \cdot \varepsilon_{op} - 0,27 \cdot h - 46,2,
 \end{aligned}$$

где $HR15T$ – твердость готовой ленты; C, Mn, Al, Nb, Ti – массовые доли углерода, марганца, алюминия, ниобия и титана в химическом составе стали, %; T_{cm} – температура поверхности горячекатаной полосы перед смоткой ее в рулон, °C; h – толщина готовой ленты, мм; $T_{отж}$ – температура окончательной выдержки при термообработке, °C; ε_{op} – относительное обжатие при дрессировке, %; $\tau_{отж1}$ – продолжительность окончательной выдержки при термообработке, %; ε_{np1} – суммарное относительное обжатие при прокатке, %.

Из многолетней практики производства в ЛПЦ-8 ОАО «ММК» известно, что изготовление холоднокатаной ленты с запрашиваемой твердостью возможно только из низкоуглеродистой стали. Однако по информации, полученной от потребителя, использование традиционных марок стали не обеспечивает бездефектную переработку ленты. Так, с учетом имеющейся информации был определен следующий химический состав стали (табл. 1).

Наиболее характерные вариации химического состава в рамках исследований приведены в табл. 2. Вариации касались содержания углерода, а также микролегирующих элементов. Общеизвестным является факт наследуемости свойств горячекатаного подката при производстве холоднокатаной металлопродукции. Проведенными исследованиями было установлено, что требуемую нормируемую твердость холоднокатаной ленты можно получить только при максимальном приближении к ней твердости горячекатаной полосы. Поэтому наряду с подбором химического состава была проведена регламентация режимов горячей прокатки на ШСП 2000 ОАО «ММК». При этом температура завершения стадии пластической деформации на стане составила 900 ± 20 C, а температура смотки в рулон – 730 ± 20 C.

Таблица 1

Химический состав стали для монетной ленты

Массовая доля элементов, %											
C	Si	N	S	P	Cr	Ni	Cu	Nb	Ti	Mn	Al
Не более						В диапазоне					
0,007	0,03	0,008	0,025	0,020	0,05	0,10	0,10	0,02 – 0,05	0,015 – 0,035	0,20 – 0,35	0,02 – 0,07

Таблица 2

Вариации химического состава стали для монетной ленты

Номер плавки	Массовая доля, %			Твердость, ед.		Примечание
	C	Nb	Ti	Подкат	Лента	
				HRB	HR15T	
324256	0,01	0,022	0,019	58-64	79-83	Перевод металла на другой заказ
325804	0,08	0,020	0,020	58-64	75-82	Замечания потребителя по выпадам твердости
225102	0,007	0,054	0,042	51-56	75-76	
125295	0,007	0,028	0,024	52-55	75-76	
117465	0,006	-	0,023	58-61	79-82	Возврат металла
120529	0,006	0,025	0,023	53-57	75-76	
323856	0,005	0,025	0,026	52-58	74-76	
110647	0,005	0,047	0,036	53-57	76-78	Замечания потребителя по выпадам твердости
325289	0,004	0,027	0,019	52-58	74-76	
325806	0,004	0,024	0,022	50-57	73-75	

Снижение температур ниже указанных приводит к твердости горячекатаной полосы свыше 58 единиц HRB, что, в свою очередь, не позволяет обеспечить требуемую низкую твердость готовой ленты. Технологические вариации по температурным режимам горячей прокатки (температуры смотки полосы) приведены в табл. 3.

С учетом «жестких» требований к точности по толщине ленты, а также для обеспечения требуемой твердости и шероховатости поверхности и отсутствия дефектов «пятна слипания» при высокотемпературном колпаковом отжиге были определены деформационно-скоростные параметры холодной прокатки и последующей дрессировки ленты в условиях станок 630 ОАО «ММК».

При этом, основными особенностями прокатки на 5-клетевом стане можно считать следующие:

- прокатка швов без замедления скорости (рис. 2);
- снижение натяжения на моталке стана на 15% от расчетного системой автоматического регулирования толщины и натяжения;
- выбор подката исходя из формулы:

$$h_{ск} = 3,5e^{0,42h_n} - 1,5,$$

где h_n – толщина готовой ленты, мм;

– выбор уставок исходя из формулы

$$h_{уст} = 0,98 \cdot h_n^{1,026};$$

– шероховатость поверхности бочки валков клетей №5 Ra в диапазоне 2,8–3,2 мкм.

Таблица 3

Вариации температуры смотки подката для монетной ленты

Номер плавки	Массовая доля, %			Т см, °C	Твердость, ед.		Примечание
	C	Nb	Ti		Подкат	Лента	
					HRB	HR15T	
324256	0,01	0,022	0,019	660-700	58-64	79-83	Перевод металла на другой заказ
325804	0,08	0,020	0,020	660-690	57-64	76-82	Замечания потребителя по выпадам твердости
225102	0,007	0,054	0,042	690-720	51-56	75-76	
125295	0,007	0,028	0,024	700-730	52-55	74-76	
117465	0,006	-	0,023	600-650	58-61	79-82	Возврат металла
120529	0,006	0,025	0,023	690-710	53-57	75-76	
325804	0,005	0,025	0,026	710-730	52-58	74-76	
110647	0,005	0,047	0,036	600-630	55-58	76-78	Замечания потребителя по выпадам твердости
325289	0,004	0,027	0,019	690-730	52-58	74-76	

Основными особенностями процесса дрессировки на 2-клетевом стане 630 явились следующие:

- выбор относительных обжатий исходя из формулы

$$\varepsilon = (-0,0114 \cdot \ln(h_n - \frac{\Delta h}{2}) + 0,017) \cdot 100\%,$$

где Δh – требуемая разнотолщинность, мм; h_n – толщина готовой ленты, мм;

- шероховатость поверхности бочки валков клетей №2 не более 0,6 мкм;
- дрессировка швов также без замедления скорости.

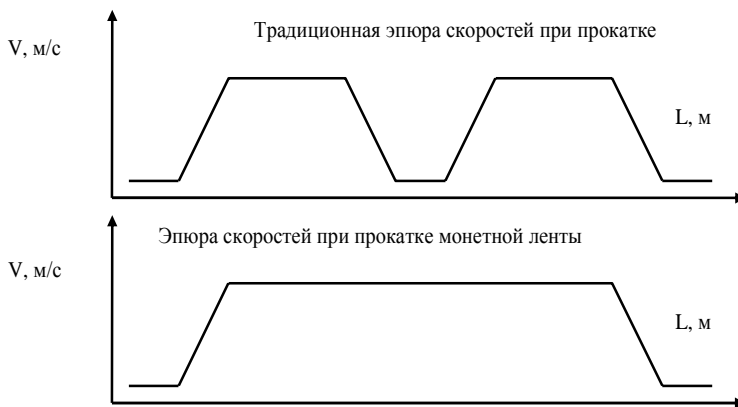


Рис. 2. Вид эпюры скоростей при холодной прокатки ленты для монетной заготовки

В процессе проведенных исследований был также разработан режим термообработки холоднокатаной ленты в колпаковых печах с азотно-водородной защитной атмосферой. Для получения требуемого уровня свойств была проведена серия экспериментов по различным вариантам термообработки (табл. 4).

Таблица 4

Исследуемые режимы термообработки ленты для монетной заготовки

№ п/п	Режим нагрева металла при рекристаллизационном отжиге с максимальной температурой по стендовой термопаре, °С	Общее время нагрева, ч	HR15T	Примечание
1	4-ступенчатый Tст max = 690	40	76-82	Возврат металла потребителем
2	5-ступенчатый Tст max = 710	38		
3	6-ступенчатый Tст max = 710	46	79-83	Перевод металла на другой заказ
4	7-ступенчатый Tст max = 720	55	76-78	Замечания потребителя по несоответствию значений твердости
5	8-ступенчатый Tст max = 740	49	75-76	Перерасход газа
6	9-ступенчатый Tст max = 740	51	74-76	
7	6-ступенчатый Tст max = 750	45	74-76	
8	5-ступенчатый Tст max = 750	45	73-75	-

Разработанный режим (рис. 3) предусматривает пятиступенчатый нагрев рулонов холоднокатаной полосы первоначально до температуры 370°С с выдержкой не менее 3 ч (1 ступень), после чего до температуры 500°С с выдержкой не менее 5 ч (2 ступень).

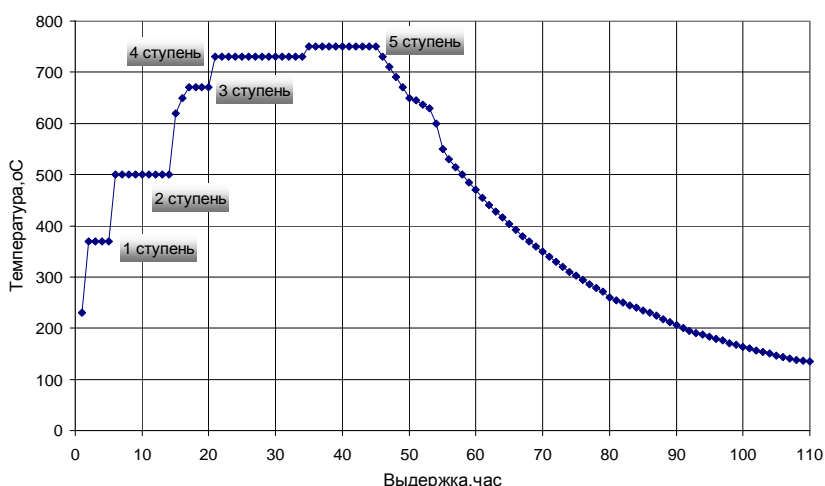


Рис. 3. Режим термообработки монетной ленты

Далее режим термообработки следующий: ступенчатый нагрев до температуры 670°С с выдержкой не

менее 3 ч (3 ступень), до температур предварительной (4 ступень) и окончательной (5 ступень) выдержки. При этом продолжительность предварительной выдержки составляет не менее 11 ч, окончательной – не менее 8 ч.

Для предотвращения свариваемости витков полосы и повышения энергоэффективности процесса термообработки охлаждение производится с прекращением подачи теплоносителя и с принудительной конвекцией защитного газа в подмуфельном пространстве до температуры 630°С. Далее снимается колпак и охлаждение производится под муфелем до температуры 135°С, после – ускоренное охлаждение на спокойном воздухе.

При этом назначение температур предварительной и окончательной выдержки осуществляется по зависимости, связывающей исходную твердость горячекатаного подката.

$$HRB = 129 \cdot Mn - 419 \cdot Al + 21.2 \cdot Ln(Ti) - 1.7 \cdot \frac{Nb}{C} - 0.18 \cdot T_{CM} - 0.79 \cdot h + 266,$$

где HRB – твердость горячекатаного подката; C, Mn, Al, Nb, Ti – массовые доли углерода, марганца, алюминия, ниобия и титана в химическом составе стали, %; T_{CM} – температура поверхности горячекатаной полосы перед смоткой ее в рулон, °С; h – толщина горячекатаного подката, мм.

Таким образом, в результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований по разработке технологии холоднокатаной ленты для монетной заготовки были получены следующие результаты:

- разработан алгоритм процесса адаптации многовариантной технологической системы «производство холоднокатаной ленты», предусматривающей получение сложного достижимого уровня потребительских свойств;

- разработана математическая модель влияния химического состава стали, режимов горячей прокатки, термообработки и дрессировки ленты на один из основных нормируемых потребителем показателей ее качества - твердость HR15T;

- разработана эффективная технология производства холоднокатаной ленты для монетных заготовок.

Список литературы

1. Голубчик Э.М., Телегин В.Е. Разработка принципов технологической адаптации при производстве металлопродукции в многообъектных технологических системах // Цветные металлы 2011: сб. докл. III междунар. конгресса в составе XVIII Междунар. конф. «Алюминий Сибири», VII Симпозиума «Золото Сибири». Красноярск: СФУ; ООО «Версо», 2011. С. 597-601.
2. Голубчик Э.М., Телегин В.Е., Хохлов А.В. Построение адаптационных моделей при проектировании многообъектных технологических систем // Управление большими системами: материалы VIII школы-конференции молодых ученых. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. С. 318-321.

Bibliography

1. Development of the principles of technological adaptation with the production of metal production product in the multiobject technological systems. Golubchik E.M., Telegin V.E. / «Nonferrous metals 2011» coll. report. III Int. Congress in the composition of VII Symposium «Gold of Siberia» Krasnoyarsk: SFU, JSC «Verso». 2011. P. 597-601.
2. Construction of adaptive models with the design of multiobject technological systems. Golubchik E.M., Telegin V.E., Khohlov A.V. / Control of the large systems: the materials VIII of the school- conference of young scientists. Magnitogorsk: Publishing house Magnitogorsk. State. tech. university named after G.I. Nosova. 2011. P. 318-321.

УДК 621.771

Румянцев М.И., Шубин И.Г., Попов А.О., Шурыгин В.И.

ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ ПРОКАТКИ НА ШСГП ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ КОНТРОЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА И ПОЛОСЫ

Описан процесс работы программы автоматизированного проектирования в режиме учета стохастичности процесса прокатки. Выполнено сравнение результативности прокатки в чистовой группе ШСГП 2000 ОАО «ММК» на примере полосы 4x1180 мм из стали 09Г2С при различных вариантах распределения обжатий по клетям и найден режим, обеспечивающий удовлетворительную результативность по комплексу характеристик процесса и прокатанной полосы.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование, широкополосный стан горячей прокатки, стохастичность процесса, результативность прокатки, разнотолщинность, энергосиловые параметры, температура конца прокатки.

The process of computer aided design functioning in stochasticity mode is described. The effectiveness comparison in finishing train of wide strip hot rolling mill is performed for the 4x1180 mm strip for the different reduction strategies. Finally, the technology which maintains satisfactory effectiveness for the whole range of both process and profile parameters was developed.

Keywords: computer-aided design, wide strip hot rolling mill, process stochasticity, process effectiveness, polythickness, energy-power parameters, finishing temperature.

При создании новых и совершенствовании существующих режимов горячей прокатки полос широко применяются компьютерные программы автоматизированного проектирования [1]. В известных реализациях, как правило, выполняется точечная оценка параметров процесса и прокатываемого металла без учета стохастичности прокатки [2]. Оценка результатов проектирования без учета объективно существующей вариации параметров может стать причиной ошибочных выводов относительно возможности прокатки по разработанным режимам и особенно выводов относительно качества прокатанных полос. С целью повышения достоверности оценок проектируемых режимов в программе [3] был реализован алгоритм, учитывающий возмущения процесса прокатки (рис. 1).

Алгоритм проектирования начинается с процедуры имитации температурного состояния сляба для каждой точки полосы из числа точек, заданного пользователем. Процесс имитации реализован с использованием процедуры генерации случайного числа по закону нормального распределения:

$$t_{сл(i)} = RndNormal(t_{сл.ном}, s), \quad (1)$$

где $t_{сл.ном}$ – номинальная температура нагрева сляба (математическое ожидание); s – стандартное отклонение.

На основании практических данных установлена взаимосвязь стандартного отклонения с величиной температуры нагрева:

$$s = 0,017t_{сл.ном} - 15,5. \quad (2)$$

Кроме того, с применением процедуры (1) из диапазонов варьирования, настраиваемых пользователем, в каждом проходе для каждой точки на полосе генерируются температуры окружающей среды, охлаждающей воды и рабочих валков. Параметры соответствующих распределений указаны в табл. 1.

Таблица 1

Диапазоны вариаций температур окружающей среды, охлаждающей воды и рабочих валков для имитации возмущений на ШСГП 2000 ОАО «ММК»

Клеть	x_{\min}	x_{\max}	\bar{x}	s
R1	76	81	79	0,7
R2	74	76	75	0,8
R3	68	73	71	1
R4	64	68	66	0,8
R5	55	64	60	0,7
R6	54	60	57	0,7
F1	77	85	81	0,83
F2	77	85	81	0,83
F3	72	80	76	0,83
F4	71	79	75	0,67
F5	65	75	70	0,83
F6	66	75	70	0,83
F7	62	70	66	0,83

На всех участках стана распределение температуры технической воды имеет следующие параметры: $x_{\min} = 15$; $x_{\max} = 35$; $\bar{x} = 20$; $s = 3,3$. Параметры распределения температуры воздуха: $x_{\min} = 15$; $x_{\max} = 20$; $\bar{x} = 17,5$; $s = 0,8$.

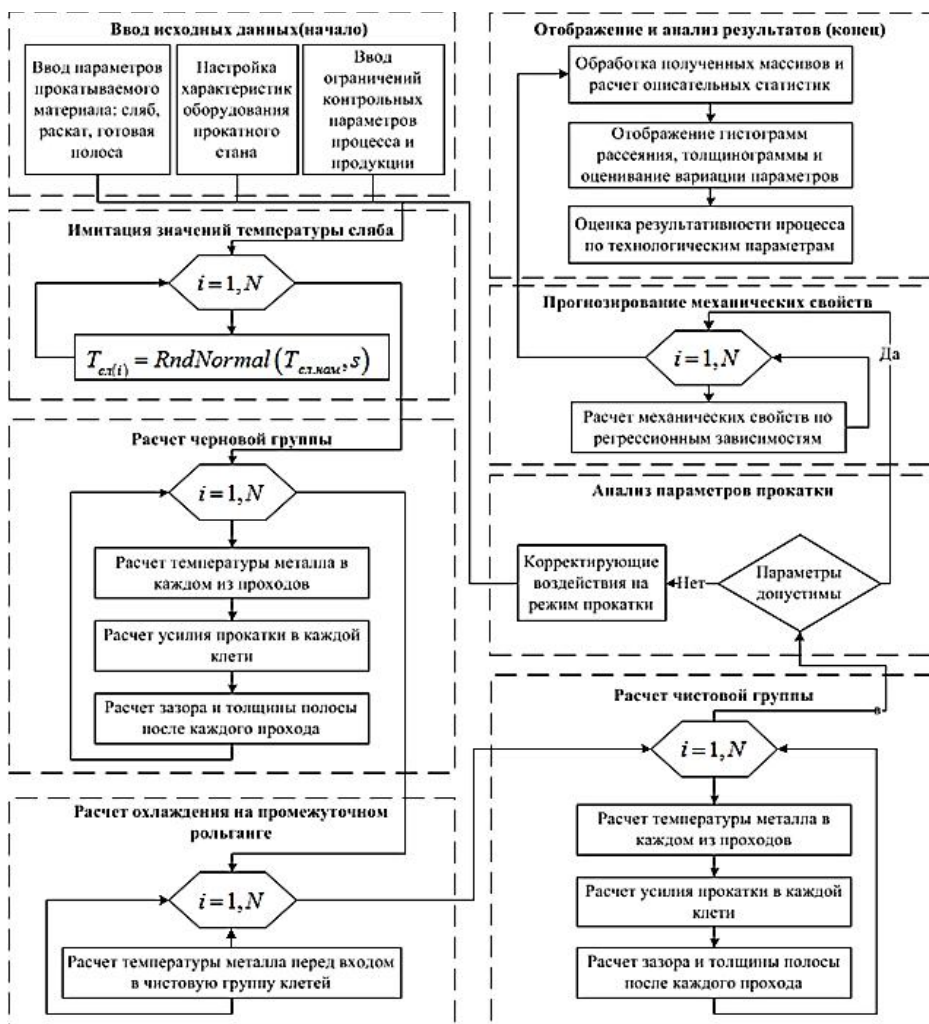


Рис. 1. Схема работы программы автоматизированного проектирования в режиме прогнозирования вариации контрольных параметров процесса и полосы

Также для каждой точки полосы реализуются процедуры расчета параметров процесса и полосы на различных участках линии стана, в результате чего формируются соответствующие массивы значений, которые, в связи с имитацией возмущений указанных выше параметров, являются случайными числами. Массивы, характеризующие состояние полосы после ее обработки на одном участке являются исходными данными для расчетов изменений тех же параметров в результате воздействия на полосу на следующем участке стана.

После расчета параметров процесса и полосы в последней чистой клетке осуществляется проверка выполнения ограничений по энергосиловым и кинематическим параметрам прокатки, а также оценивается соответствие прогнозируемой температуры конца прокатки заданной. Для оценивания используется показатель соответствия q_{pk} . В соответствии с рекомендациями работы [4] принимаются следующие оценки результативности процесса: отличная ($q_{pk} > 1,67$), хорошая ($1,33 < q_{pk} \leq 1,67$), удовлетворительная ($1,00 < q_{pk} \leq 1,33$).

В случае успешной проверки выполняется расчет производительности прокатного стана и последующий переход к расчету температуры скотки. Если по

какому-либо параметру наблюдается невыполнение установленных требований, то принимаются соответствующие корректирующие меры, и расчет повторяется с самого начала.

Для прогнозирования температуры скотки и настройки схемы охлаждения на отводящем рольганге в программе предусмотрен специальный модуль, позволяющий моделировать работу установок охлаждения различного конструктивного исполнения*. При этом возможна вариация количества и расположения секций на отводящем рольганге, а также задание расхода воды по каждой секции и типа верхних коллекторов – струйный или щелевой [3].

С использованием полученной совокупности значений температуры скотки по экспериментальным зависимостям, полученным в ходе множественного регрессионного анализа, осуществляется расчет механических свойств стали. Для учета особенностей того или иного материала и повышения точности прогноза программа позволяет пользователю описывать свои модели анализа механических свойств.

Для оценки качества продукции, прокатываемой по спроектированному режиму, программа выдает пользователю графическое представление вариации контрольных параметров в виде гистограмм распределения и прогнозируемой толщинограммы. Примеры рабочего окна программы с визуальным отображением результатов представлены на рис. 2.

Приведем пример реализации методики поиска наиболее результативной технологии прокатки полосы 2x1250 из стали марки S315 MCв чистой группе ШСГП 2000 ОАО «ММК». С использованием показателя соответствия были рассмотрены и оценены 2 варианта режимов обжатий (рис. 3).

Обжатия по варианту 1 являются фактическими обжатиями, записанными при производстве рассматриваемого профиля. А вариант 2 является скорректированным вариантом обжатий, разработанным для обеспечения необходимой результативности прокатки по всему комплексу показателей. В обоих случаях толщина промежуточного раската (на входе в чистовую группу) 30 мм.

* В работе принимал участие Ветренко А.Г.

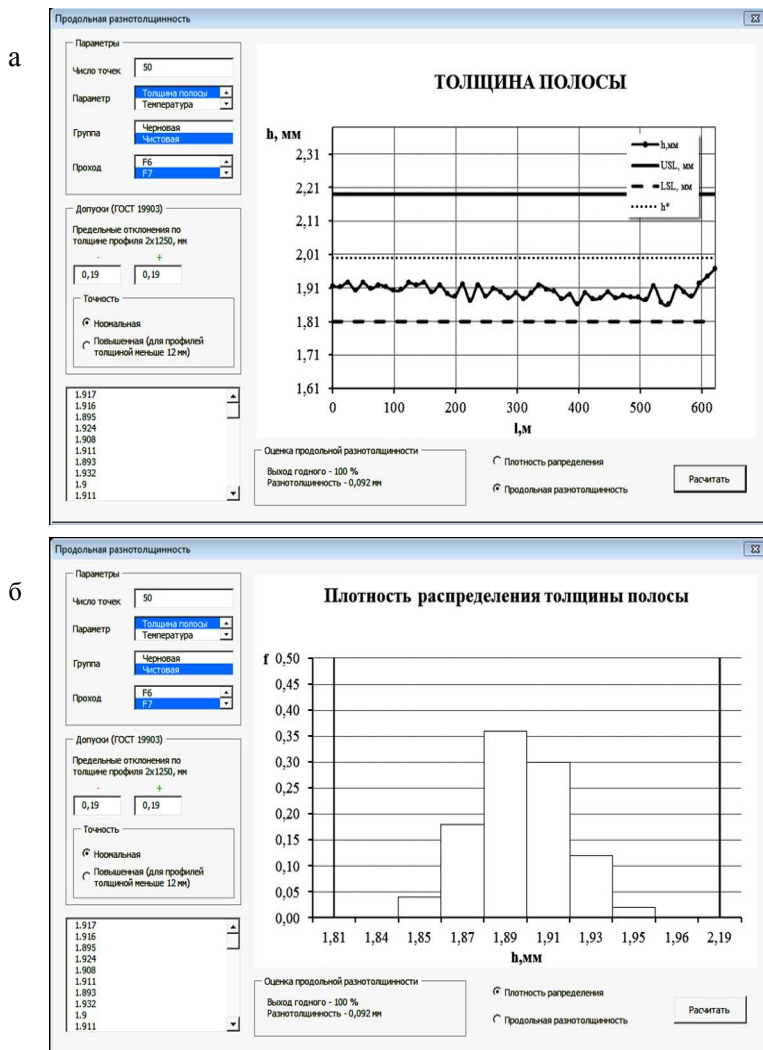


Рис. 2. Пример отображения вариации толщины полосы 2x1250 мм из стали S315MC при прокатке на ШСГП 2000 ОАО «ММК»: а – толщинограмма; б – гистограмма распределения и границы допуска

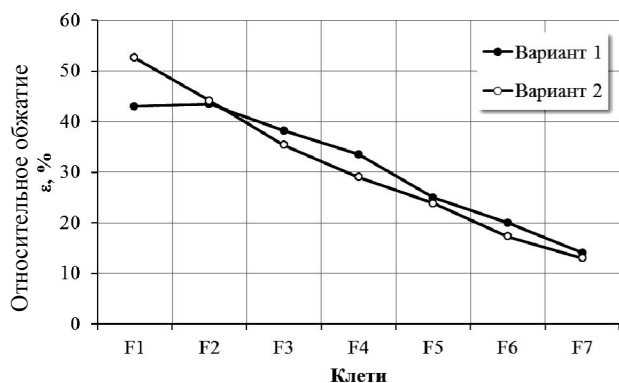


Рис. 3. Распределение обжатий при прокатке в чистовой группе ШСГП 2000 полосы 2x1250 мм из раската толщиной 30 мм

Оценка результативности вариантов проводилась по продольной разнотолщинности прокатанной поло-

сы $\delta_h^=$ и температуре конца прокатки $t_{кп}$. Значения показателей соответствия, а также описательные статистики представлены в табл. 2.

Из результатов видно, что по разнотолщинности результативность обжатий, применяемых на производстве, можно оценить как отличную ($q_{pk}(\delta h) = 2,635$). Однако их недостатком является неудовлетворительное значение оценки соответствия по температуре конца прокатки ($q_{pk}(t_{кп}) = 0,666$), что связано со значительной вариацией температуры (рис. 4, а).

Таблица 2

Оценка результативности процесса прокатки при различных вариантах распределения обжатий по толщине готовой полосы и температуре конца прокатки

Параметр	\bar{x}	s	x_{\min}	x_{\max}	R	q_{pk}
Толщина, мм						
Режим 1	1,95	0,018	1,923	2,000	0,077	2,635
Режим 2	1,91	0,018	1,875	1,957	0,082	1,807
Температура, °C						
Режим 1	830,43	4,790	817,121	838,758	21,637	0,666
Режим 2	824,90	4,844	811,366	833,463	22,097	1,025

Примечание. \bar{x} – среднее выборочное; s – стандартное отклонение; x_{\min} – минимальное значение; x_{\max} – максимальное значение; R – размах; q_{pk} – показатель соответствия.

Для улучшения результативности процесса по данному параметру коррекцией распределения обжатий был найден режим 2, обеспечивающий удовлетворительное значение показателя соответствия $q_{pk}(t_{кп}) = 1,025$ (рис. 4, б). Следует отметить, что новый режим имеет несколько меньшую оценку результативности процесса по разнотолщинности полосы ($q_{pk}(\delta h) = 1,807$), которая, тем не менее, соответствует уровню «отлично».

По совокупности оценок можно ожидать, что с точки зрения выполнения ограничений, предъявляемых как к процессу, так и к полосе, оба режима являются допустимыми. Однако учет стохастического аспекта позволяет получить более полную картину о надежности разрабатываемой технологии. В связи с чем, можно сказать, что лучшая результативность прокатки в чистовой группе ШСГП 2000 полосы 2x1250 мм из стали S315MC будет достигнута в случае использования расчетного режима.

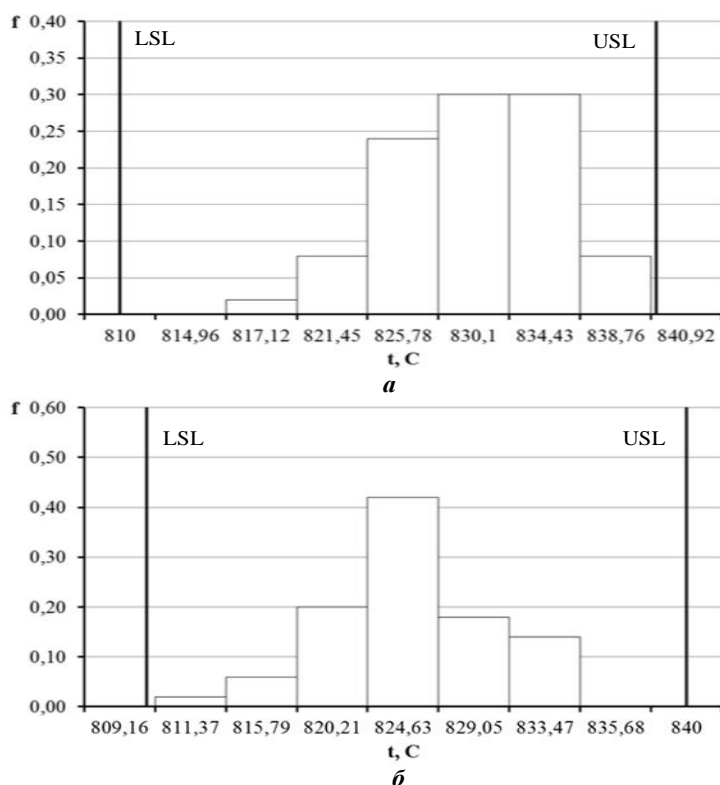


Рис. 4. Распределения температуры конца прокатки полосы 2x1250 при прокатке на ШСГП 2000 ОАО «ММК» по варианту обжатий 1 (а) и 2 (б): USL и LSL – верхняя и нижняя граница допуска указанных параметров

Список литературы

1. Румянцев М.И. Методика разработки режимов листовой прокатки и ее применение // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2003. № 3. С. 35-39.
2. Мазур В.Л., Ноговицын А.В., Добронравов А.И. Рациональный метод расчета на ЭВМ параметров тонколистовой прокатки // Изв. вузов. Черная металлургия. 1977. № 2. С. 54-59.
3. Разработка и опыт применения программы автоматизированного проектирования технологий горячей прокатки высокопрочной широкополосной стали для автомобилестроения на станах различных типов / Румянцев М.И., Шубин И.Г., Попов А.О. и др. // Современная металлургия начала нового тысячелетия: сб. науч. труд. Ч. II. Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2011. С. 56-62.
4. Румянцев М.И., Цепкин А.С., Оплачко Т.В. Унифицированный подход к расчету дифференциальных оценок при квалиметрическом оценивании качества проката // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2007. №3. С. 61-64.

Bibliography

1. Rumyantsev M.I. Methodology of hot strip rolling technology development and its application // Vestnik Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov. 2003. № 3. P. 35-39
2. Mazur V.L., Nogovitsyn A.V., Dobronravov A.I. The rational way of thin strip rolling parameters computer calculation // Sci. ferroalloy metallurgy. 1977. № 2. P. 54-59.
3. Development and experience with the computer aided design of hot rolling technology of wide-strip high-strength steel products production for automobile industry for different types of mills / Rumyantsev M.I., Shubin I.G., Popov A.O. and others // Modern metallurgy of the new millennium beginning: scientific papers. Part II Lipetsk: Publ LSTU, 2011. P. 5-62.
4. Rumyantsev M.I., Tsepkin A.S., Oplachko T.V. Unified approach to differential ratings calculation in their qualitative evaluation of rolled metal quality // Vestnik Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov, 2007. №3. P. 61-64.

УДК 621.746.5.047

Мошкунов В.В., Столяров А.М.

ВЛИЯНИЕ МЯГКОГО ОБЖАТИЯ НА МАКРОСТРУКТУРУ СЛЯБОВОЙ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ ИЗ ТРУБНОЙ СТАЛИ

Мягкое обжатие слябовых непрерывнолитых заготовок из трубной стали позволяет улучшить качество центральной части сляба и изменить расположение участка осевой рыхлости и осевой химической неоднородности.

Ключевые слова: непрерывнолитой сляб, мягкое обжатие, качество металла.

Soft reduction of continuously cast from tube steel allows to improve the quality of the central part of slab and to change «center segregation» defects location.

Keywords: continuously cast slab, soft reduction, metal quality

В кислородно-конвертерном цехе ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» трубная сталь разливается на слябовой МНЛЗ криволинейного типа с вертикальным участком. Для улучшения качества металла осевой зоны слябовой заготовки на этой машине применяется мягкое обжатие непрерывнолитой заготовки [1–2]. В данной работе исследуется влияние мягкого обжатия сляба на макроструктуру отлитой заготовки.

Для изучения особенностей внутреннего строения непрерывнолитых заготовок, отлитых с применением мягкого обжатия, были отобраны поперечные темплеты в процессе разлива трех плавков трубной стали класса прочности К60. В металле плавков А, В, С со-

держалось 0,07–0,10% углерода, 0,28–0,55% кремния, 1,59–1,63% марганца, 0,002–0,003% серы, 0,09–0,15% фосфора. Слябовые заготовки с размерами поперечного сечения 300×2600 мм отливались со скоростью вытягивания из кристаллизатора 0,70–0,79 м/мин. Величина мягкого обжатия составляла от 5,3 до 5,5 мм.

Для исследования качества отлитых непрерывнолитых слябов по их продольной оси вырезались поперечные темплеты. Подготовка всех темплетов заключалась в проведении стандартных операций:

– фрезерования для снятия слоя металла, подвергнутого высокотемпературному воздействию огневого реза машины газовой резки;

– шлифования для выравнивания поверхности

темплета;

– травления в горячем 50%-ном растворе соляной кислоты.

После этого производилась оценка качества макроструктуры металла согласно ОСТ 14-1-235-91. Макроструктура литого металла оценивалась по степени развития следующих дефектов:

- осевая рыхлость (ОР);
- осевая химическая неоднородность (ОХН);
- осевые трещины (ОТ);
- трещины, перпендикулярные граням сляба (ТП);
- трещины, перпендикулярные широким граням сляба (ТП_ш);
- трещины, перпендикулярные узким граням сляба (ТП_у);
- трещины гнездообразные (ТГ);
- точечная неоднородность (ТН).

Степень развития дефектов оценивалась с использованием четырехбалльных шкал.

Фотографии темплетов приведены на рис. 1 и 2.

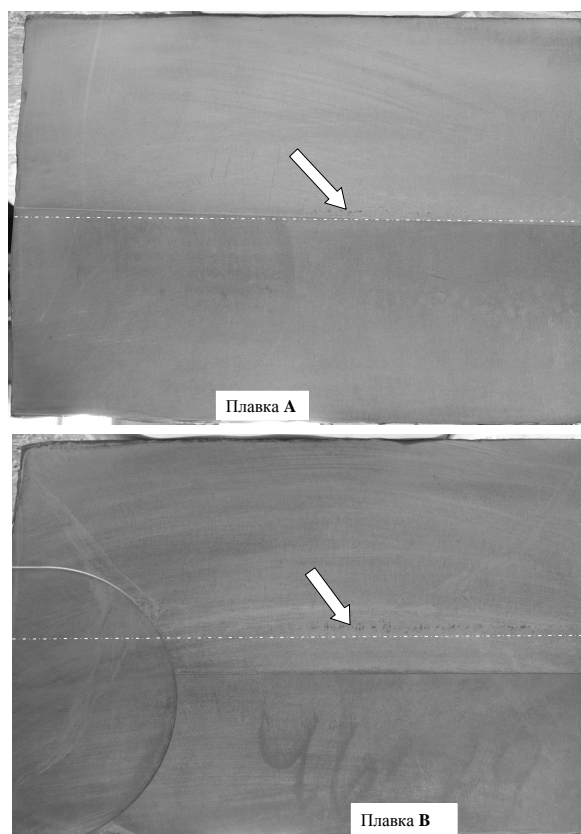


Рис. 1. Фотографии темплетов из слябов плавки А и В

На всех фотографиях белыми штрихпунктирными линиями показана геометрическая середина заготовок по их толщине, а стрелками – место повышенной растравимости металла по осевой рыхлости и осевой химической неоднородности.

Анализ рисунков показывает, что осевая рыхлость и осевая химическая неоднородность расположены не в середине сляба, а сдвинуты вверх на 1,2–2,5% (отн.) по толщине, то есть темплеты имеют асимметричное строение.

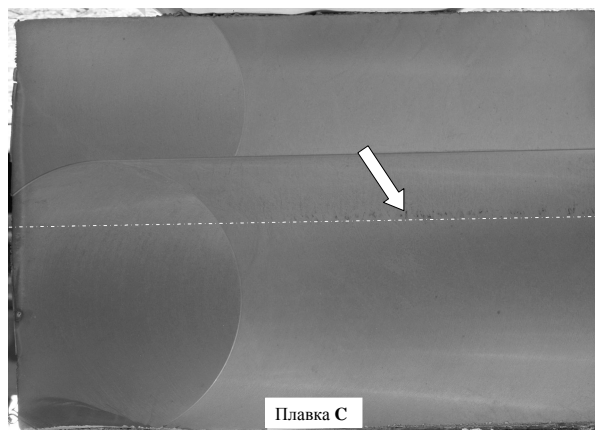


Рис. 2. Фотография темплета из сляба плавки С

Для сравнения строения слябовой непрерывнолитой заготовки, отлитой с применением мягкого обжата и без него, в процессе разливки трубной стали марки 09Г2С (плавка D) были отобраны темплеты. Сталь имела следующий химический состав: 0,09% углерода, 0,66% кремния, 1,54% марганца, 0,004% серы, 0,011% фосфора, 0,033% алюминия, 0,005% азота. Слябы сечением 250×1560 мм отливались со скоростью вытягивания 1,04 м/мин. Мягкое обжатие производилось в 11-м и 12-м сегментах на величину 5 мм. Из второго по порядку разливки сляба, когда осуществлялось обжатие, был отобран поперечный темплет. Другой темплет был отобран из пятнадцатого сляба, отлитого при отключенном обжатии.

Фотографии темплетов представлены на рис. 3.

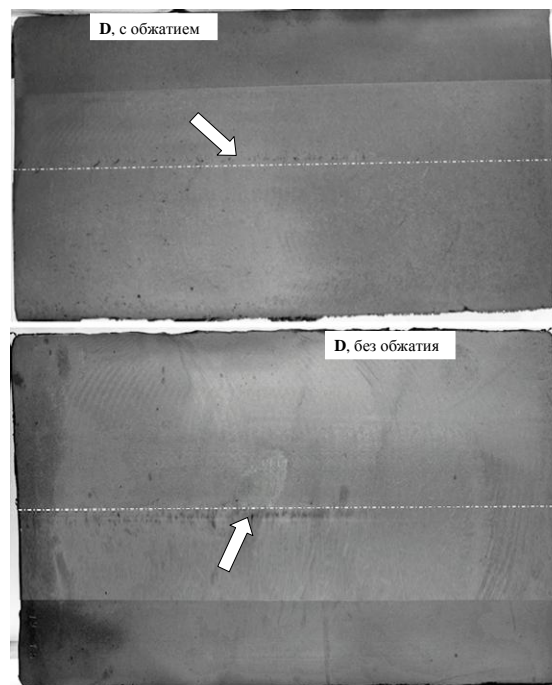


Рис. 3. Фотографии темплетов из слябов плавки D: после мягкого обжата (вверху) и без обжата (внизу); штрихпунктирные линии – середина сляба по толщине; стрелки показывают место расположения осевой рыхлости и осевой химической неоднородности

Металлографическая оценка качества металла показала, что степень развития дефектов «Осевая рыхлость» и «Осевая химическая неоднородность» в слябе с обжатием оценивается баллом 1, а в заготовке без обжатия – баллом 1,5.

При сравнительном анализе структуры темплетов установлено, что расположение участков повышенной растравимости в осевой части темплетов различается. Так, на темплете из сляба, отлитого без обжатия, данные участки находятся на 1,6% ниже геометрической середины заготовки по толщине, то есть наблюдается так называемая «нижняя» асимметрия сляба. Такая структура традиционна и характерна для непрерывнолитых заготовок, отлитых на криволинейных МНЛЗ. Формирование такой структуры происходит вследствие различия между скоростями продвижения фронтов кристаллизации навстречу друг другу из-за оседания равноосных кристаллов, образующихся по объемному механизму, на границу нижнего фронта. На темплете же из сляба, отлитого с мягким обжатием, участки растравимости располагаются на 2,8% выше середины заготовки – возникает «верхняя» асимметрия сляба. Аналогичная структура была обнаружена и на темплетях из слябов толщиной 300 мм плавок А, В и С (см. рис. 1 и 2).

Следовательно, в результате осуществления обжатия осевые рыхлость и химическая неоднородность перемещаются из нижней в верхнюю половину заготовки. Это может происходить из-за того, что при нажатии гидроцилиндрами сверху на сляб в жидкой части заготовки образуется гидродинамическое давление, направленное сверху вниз. В результате этого сквозь «лес» дендритов двухфазной зоны подпитка расплавом пор в нижней части двухфазной зоны, возникающих из-за усадки металла, происходит значительно эффективнее, чем в ее верхней части. Нижние

поры быстрее залечиваются, а дефекты усадочного происхождения образуются позже – после прекращения обжатия заготовки и находятся в вышерасположенных слоях металла.

Таким образом, мягкое обжатие на 1,8–2,0% по толщине слябовой непрерывнолитой заготовки из трубной стали на криволинейной МНЛЗ с вертикальным участком позволяет улучшить качество центральной части сляба вследствие уменьшения степени развития таких дефектов, как осевая рыхлость и осевая химическая неоднородность примерно на 0,5 балла. В результате мягкого обжатия заготовки изменяется строение осевой части сляба: участки расположения осевой рыхлости и осевой химической неоднородности перемещаются из-под геометрической оси заготовки и оказываются над ней, то есть происходит переход от «нижней» асимметрии при варианте разлива без обжатия к «верхней» асимметрии при использовании мягкого обжатия.

Список литературы

1. Мошкунев В.В., Столяров А.М., Казаков А.С. Определение длины лунки жидкого металла в непрерывнолитых слябах из трубной стали с использованием эффекта «искусственного раздутия» заготовки // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2012. №1 (37). С. 24-26.
2. Мошкунев В.В., Столяров А.М., Казаков А.С. Снижение осевой химической неоднородности трубной стали в результате мягкого обжатия непрерывнолитого сляба // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2012. №2 (38). С. 24-25.

Bibliography

1. Moshkunov V.V., Stoliarov A.M., Kazakov A.S. Determination of the length to point of solidification in strands of Peritectic Low Alloyed steels for pipes with using «Mini whale» effect // Vestnik MGTU named after G.I. Nosov. 2012. №1 (37). С. 24-26.
2. Moshkunov V.V., Stoliarov A.M., Kazakov A.S. Longitudinal chemical inhomogeneity of continuously cast slab from tube steel improvements as a result of soft reduction. Vestnik MGTU named after G.I. Nosov. 2012. №2 (38). С. 24-25.

УДК 621.778.5:677.721

Харитонов В.А., Лаптева Т.А.

РАСЧЕТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ПО СЕЧЕНИЮ ПРЯДИ ПРИ КРУГОВОМ ОБЖАТИИ

Предложена уточненная методика расчета передачи давления внутрь при малом пластическом обжатии многослойной пряди. Методика учитывает рост контактных площадок под действием тангенциальной составляющей давления.

Ключевые слова: проволока, прядь, малое пластическое обжатие, контактная поверхность, деформация.

There is a method for calculate of deformation around the strands procession radial squeezes. This method demonstrates the increase of the contact between the wires from influence tangential part of the presser.

Keywords: a wire, a strand, small plastic squeezing, a contact surface, deformation.

Повысить эксплуатационный ресурс стального каната возможно с помощью малого кругового пластического обжатия прядей, вследствие которого формируется межпроволочный полосовой контакт, снижающий рабочие напряжения [1-3]. Для определения величины межпроволочного контакта необходимо установить характер распределения деформаций между слоями пряди.

Глушко М.Ф., Скалацким В.К., Малиновским В.А. предложена методика расчета давлений (напряжений)

между проволоками пластически обжатой пряди [4], в которой для определения радиальной составляющей давления в любой проволоке введен коэффициент передачи радиального давления C_{ik} от k -й проволоки на i -ю. Расчет коэффициентов передачи давления ведется через угол β , находящийся между N_{ik} – нормалью к площадке смятия двух проволок и радиусом пряди, проведенным через ось проволоки i (рис. 1). При этом использовано допущение о пропорциональности давления между проволоками площадке их

взаимного смятия, но не учтено различие напряженного состояния проволок.

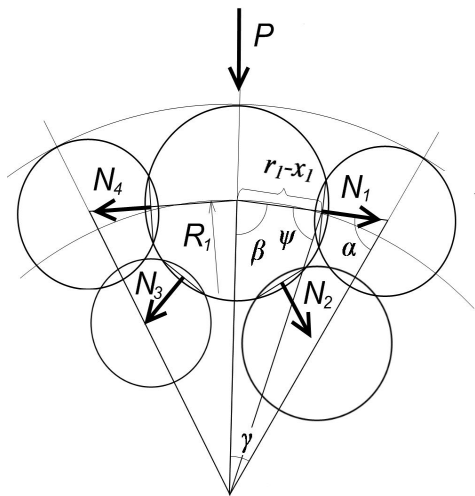


Рис. 1. Принципиальная схема определения давлений между проволоками

В настоящей работе предлагается уточненный расчет передачи давления внутрь пряди, включающий учет роста контактных площадок, в том числе и под действием тангенциальной составляющей давления, а также системы коэффициентов передачи давления, рассчитываемой не через угол β , а через угол наклона ψ (см. рис. 1) контактных площадок. Угол ψ образуется межцентровым отрезком контактирующих проволок и отрезком, соединяющим центр пряди с центром контактной площадки. Этот угол определяет для конкретной площадки контакта соотношение нормальной силы N_i и ее радиальной составляющей и рассчитывается по формуле

$$\psi = \arctan \left[\frac{\sin(\alpha + \gamma) R_1}{\cos(\alpha + \gamma) R_1 + r_1 - x_1} \right], \quad (1)$$

где R_1 – расстояние от центра пряди до центра проволоки; γ – угол между радиусами, проведенными из центра пряди к центрам контактирующих проволок; α и β – углы между радиусами, проведенными из центра проволок к центру пряди и к центру контактной площадки соответственно; x_1 – расстояние между площадкой контакта и вершиной дуги окружности проволоки радиусом r_i на нормали к площадке контакта; N_i – сила, нормальная к поверхности контакта.

Принятое допущение: проволоки деформируются без уменьшения площади поперечного сечения (деформация плоская) вследствие малого обжатия пряди, при котором длина площадки контакта на порядок меньше длины очага деформации. Длина каждой образуемой межпроволочной и поверхностной площадки контакта в пряди не пропорциональна прилагаемому к ней давлению.

Коэффициенты Ca_i и Cb_i , характеризующие изменение радиальных напряжений в проволоке до и после обжатия (формирования дополнительной контактной площадки у проволоки), соответственно определим из геометрических соображений по формуле (2).

В работе [5] приведена зависимость наклона площадки контакта от ее развитости, что определяет изменение угла ψ при обжатии пряди. Таким образом, коэффициент Ca_i будет различен при разных степенях обжатия даже без образования новых площадок контакта.

$$Ca_i = \frac{\sum_{i=1}^s \cos \psi_i}{\sum_{i=1}^s \cos \psi_i + \sum_{i=1}^s \sin \psi_i}; \quad (2)$$

$$Cb_i = \frac{\sum_{i=1}^s \cos \psi_i}{\sum_{i=1}^s \cos \psi_i + \sum_{i=1}^s \sin \psi_i},$$

где s – суммарное количество контактов i -й проволоки.

Введем коэффициенты реализации давления P_i в j -й проволоке $C_{(i-j)}$ (от i -ой проволоки j -й проволоке). Принимаем, что в проволоке верхнего повива $P_i = 100\% = 1$. Нормальные контактные напряжения между проволоками в слоях до и после деформации рассчитаем через коэффициенты $Ca_{(i-j)}$, $Cb_{(i-j)}$:

$$Ca_{(i-j)} = \frac{\cos \psi_i}{\sum_{i=1}^m \cos \psi_i}, \quad Cb_{(i-j)} = \frac{\cos \psi_i}{\sum_{i=1}^m \cos \psi_i}, \quad (3)$$

где m – количество нижележащих контактов i -й проволоки; ψ_i – угол контакта i -й проволоки с проволокой, воспринимающей давление.

Для учета особенности конструкции пряди введем коэффициент $N_{(i-j)}$, определяющий количество контактов между каждой проволокой j -го слоя с проволоками вышележащего i -го слоя.

С учетом коэффициентов Ca_i , Cb_i , $C_{(i-j)}$ и $N_{(i-j)}$ определяем давление P_j в j -й проволоке

$$P_j = \sum_{i=1}^{\kappa} P_i \cdot C_{ai} \cdot C_{a(i-j)} \cdot N_{(i-j)}, \quad (4)$$

где κ – количество верхних контактов j -й проволоки в данный момент.

Анализ расчетов показал сложную схему передачи давления в пряди, согласно которой протекают процессы:

1) передача внутрь давления, возрастающего с уменьшением количества проволок;

2) потеря части передаваемого вглубь пряди давления после образования боковых контактов между проволоками одного слоя. После формирования боковых контактов между проволоками одного слоя давление по боковому контакту передается только в тангенциальном направлении, что снижает радиальную составляющую передаваемого проволокой давления;

3) распределение давления в пряди, зависящее от количества контактов данной проволоки и доли передачи давления через конкретный контакт от вышележащей проволоки. Таким образом, могут формиро-

ваться локальные концентраторы давления, а при передаче образовываться неодинаковые по величине потоки давления от внешних слоев вглубь пряди.

Давление уменьшается при передаче внутрь пряди, но в центральной проволоке из-за накопления давления по слоям (передача от нескольких проволок внутреннего слоя к одной центральной проволоке) происходит резкое возрастание давления.

Из-за появления новых контактных площадок в процессе обжатия передаваемое давление в слое может не только уменьшаться, но и увеличиваться. При образовании дополнительных контактных площадок, в общем случае, передаваемое внутрь пряди давление снижается.

Значительная асимметрия расположения контактов по контуру определяет неравномерность сжатия, что снижает усилие деформации. Увеличение количества контактов, в свою очередь, обуславливает рост шарового тензора, что увеличивает усилия, необходимые для деформации [6]. Учитывая приведенные факторы, вводим коэффициент $P_{(i)СГН}$ увеличения потребного усилия деформации P_i из-за усложнения схемы главных напряжений и определяем его по формуле

$$P_{(i)СГН} = \frac{\sum_{i=1}^s \left(\frac{1}{\sin^2 \frac{\lambda_i}{2}} \right)}{s + \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^s (\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{s}}}, \tag{5}$$

где $\bar{\lambda}$ – средняя величина углов; λ_i, λ_i – центральный угол окружности проволоки, образованный отрезками, проведенными к центрам ее контактных площадок с двумя соседними проволоками (рис. 2).

Учет количества контактов определяется числителем, а асимметрия их расположения – знаменателем формулы (5). При наличии двух противолежащих контактов $P_{(i)СГН} = 1$, что определяет схему напряжений как одноосную.

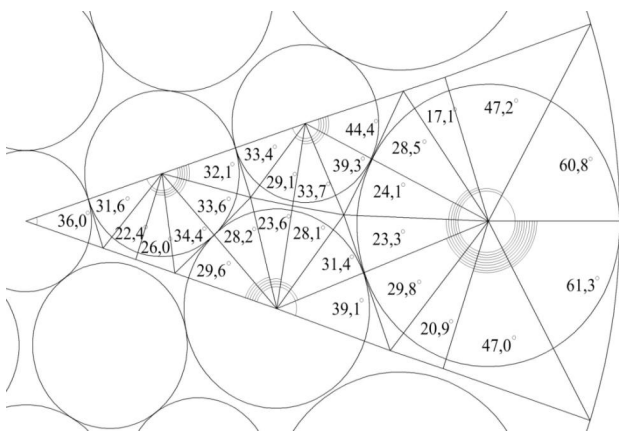


Рис. 2. Углы λ' и λ'' в пряди конструкции 1+5+5/5+10, где $\lambda = \lambda' + \lambda''$

Для учета влияния схемы напряжения на сопротивление деформации проволоки введем коэффициент приоритета $P_{приор}$, показывающий преимущественность протекания деформации в данной проволоке по отношению к другим проволокам в пряди, рассчитываемый по формуле

$$P_{приор} = \frac{P_i}{P_{(i)СГН}}. \tag{6}$$

В качестве примера определим приоритетность деформации проволок пряди конструкции 1+5+5/5+10 (рис. 3) с диаметрами проволок по слоям, считая от внешнего: 1 слой – 1,70 мм; 2 слой – 0,95 мм; 3 слой – 1,20 мм; 4 слой – 1,00 мм; 5 слой – 0,85 мм. Выделение пяти слоев произведено по принципу удаленности центра каждой проволоки от центра пряди.

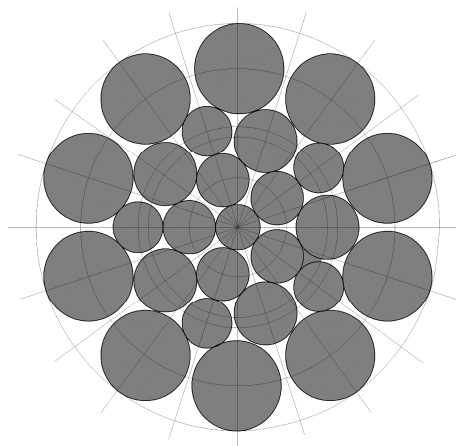


Рис. 3. Сечение пряди конструкции 1+5+5/5+10 до обжатия

В общем случае принимаем условие последовательного формирования контактов от внешних проволок к внутренним, исходя из следующего:

1. Величина давления во внутренних слоях (кроме центральной проволоки, не имеющей боковых контактов), вследствие частичного перераспределения давления в тангенциальном направлении, снижается, а следовательно, снижается интенсивность деформации.

2. Схема напряженного состояния проволоки верхнего повива наиболее благоприятна для деформирования, т.к. величина интенсивности напряжения σ_i меньше из-за малого шарового тензора, определяемого, в частности, количеством контактов и неравномерностью их расположения по радиусу.

Расчетные значения коэффициентов Ca_i и Cb_i на начальной стадии развития i -го контакта представлены на рис. 4.

При формировании первого контакта во внешнем слое радиальная составляющая давления снижается с $Ca_1=61,1\%$ до $Cb_1=35,4\%$ (см. рис. 4).

Рассчитанные значения коэффициентов передачи $C_{(i-j)}$ и коэффициентов $N_{(i-j)}$ для исследуемой пряди составили: $Ca_{(1-2)}=0,485$; $Ca_{(1-3)}=0,515$; $Ca_{(2-4)}=1,000$; $Ca_{(3-4)}=0,500$; $Ca_{(4-5)}=1,000$; $Cb_{(2-3)}=0,151$; $Cb_{(2-4)}=0,698$; $N_{(1-2)}=2$; $N_{(1-3)}=2$; $N_{(2-3)}=2$; $N_{(2-4)}=1$; $N_{(3-4)}=2$; $N_{(4-5)}=5$.

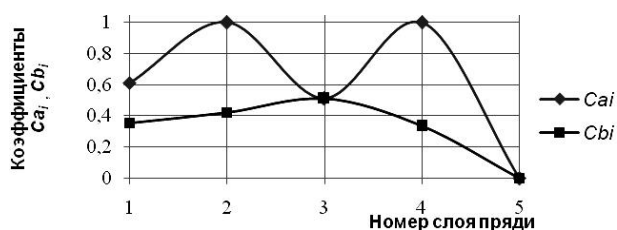


Рис. 4. Коэффициенты, определяющие радиальную долю давления в слоях пряди до (C_{ai}) и после (C_{bi}) образования дополнительных контактов

При условии последовательного формирования контактов для пряди конструкции $1+5+5/5+10$ первый контакт будет формироваться между проволоками верхнего повива, второй – между проволоками второго и третьего слоя. Последний контакт образуется между проволоками внутреннего повива. Таким образом, по формуле (4) получаем схему распределения давлений P_j в проволоках пряди (рис. 5). До момента формирования контактов в слоях пряди в центральной проволоке согласно рис. 5 реализуется 45,7% прилагаемого извне усилия. Давление на центральную проволоку (5 слой) становится меньше только в процессе развития контактов между проволоками второго и третьего слоя (см. рис. 5). При образовании прочного свода проволок в слоях (арок) давление на центральную проволоку уменьшается в 8,8 раза по сравнению с подаваемым изначально до образования полосовых (арочных) контактов (см. рис. 5).

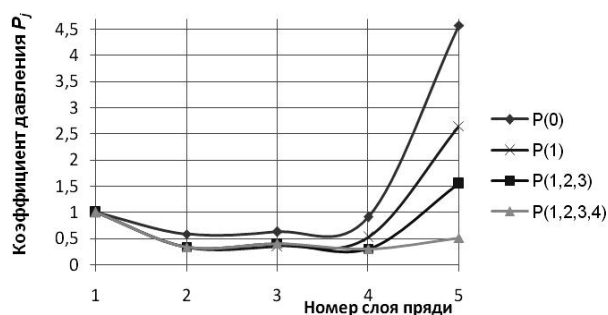


Рис. 5. Распределение давления P_j по слоям пряди при последовательном образовании контактов: $P(0)$ – схема расчета напряжений в проволоках пряди до появления первого контакта; $P(i, j)$ – после появления i -го и j -го контактов

С целью проверки методики произведено сравнение результатов расчетов с данными по распределению радиального давления, приведенными в работе [4], где рассчитаны коэффициенты передачи для пряди конструкции $1+5+5/5$. По условию задачи при линейном обжатии в $n_n=8\%$ подразумевается наличие всех контактов, что соответствует случаю $P(1,2,3,4)$ на рис. 5.

По условию расчета получим, что, с учетом данных из рис. 3, для пятого слоя $C_5 = 5 \cdot 0,366 \cdot 0,499 \cdot 0,6 = 0,548$. Аналогично для остальных слоев: $C_4 = 0,499 \cdot 0,6 = 0,299$, $C_3 = 0,547 \cdot 0,6 + 0,044 \cdot 0,272 = 0,340$ и $C_2 = 0,453 \cdot 0,6 \times 0,499 \cdot 0,6 = 0,272$.

В статье [4] приводятся обобщенные коэффици-

енты для всех прядей конструкции $1+5+5/5$, а для разрабатываемой методики приведено распределение давления только на начальной стадии развития контактов. Сравнение результатов расчетов показывает отклонение данных, полученных по разработанной методике, от данных работы [4] на 12%.

Для дальнейшего расчета определим геометрически величины углов λ' и λ'' (см. рис. 2) и по формуле (5) найдем изменение коэффициента $P_{(i)сгн}$ потребного усилия деформации (рис. 6).

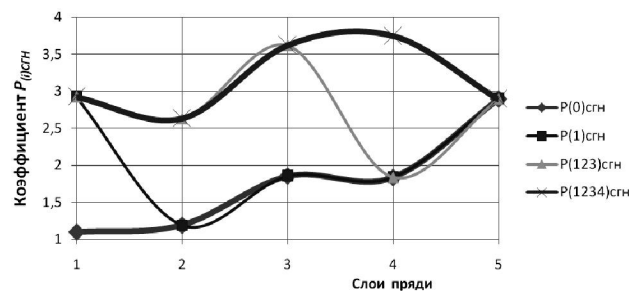


Рис. 6. Изменение $P_{(i)сгн}$ потребного усилия деформации P_i при увеличении количества дополнительных контактов

Для проволок третьего и четвертого слоя при образовании шести контактов и их развитии, с учетом принимаемых коэффициентов, необходимые усилия деформации возрастают почти в четыре раза по сравнению с одноосным сжатием. Это приводит, несмотря на наличие высокого давления в проволоке, к снижению степени получаемой деформации. По формуле (6) для каждой проволоки определен коэффициент приоритета деформации, результаты расчета представлены на рис. 7.

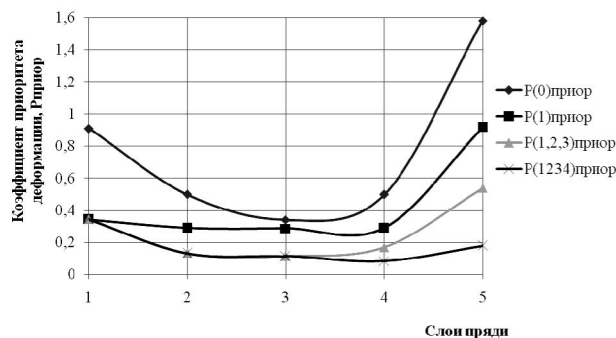


Рис. 7. Приоритетность протекания деформации по слоям пряди

Расчет показывает, что коэффициент давления P_j , а соответственно, и усилие деформации в центральной проволоке в 4,5 раза больше по сравнению с внешней проволокой (см. рис. 5), но степень получаемой деформации всего в 1,6 раза больше из-за менее благоприятной для деформации схемы напряжений ($P(0)_{приор}$ на рис. 7).

Площадки контакта образуются во столько раз большие по ширине, во сколько больше коэффициент приоритетности $P_{приор}$ у данной проволоки по отно-

шению к другой. Таким образом, деформация на первом этапе преимущественно осуществляется в центральной проволоке до заполнения межпроволочных зазоров и по графику $(P(0)_{\text{приор}}$ на рис. 7) имеем, что центральная проволока интенсивно деформируется до образования первой арки $(P(1)_{\text{приор}}$ на рис. 7), формируемой проволоками верхнего повива. Дальнейшее быстрое снижение приоритета деформации центральной проволоки соответствует падению напряжений, которые становятся недостаточными для продолжения роста контактных площадок.

Кроме центральной, на первом этапе достаточно интенсивно деформируются проволоки первого повива. После образования первой арки, с учетом прекращения интенсивной деформации в центральной проволоке из-за заполнения зазоров, деформация идет равномерно по всему сечению пряжи $(P(1)_{\text{приор}}$ на рис. 7). После образования второй и третьей арки из-за несимметричности контактов и высоких давлений проволока верхнего повива снова становится наиболее приоритетной деформированию $(P(1,2,3,4)_{\text{приор}}$ на рис. 7).

Выводы:

1. Уточнена методика расчета передачи давления внутрь пряжи при круговом пластическом обжатии, введена система коэффициентов, учитывающая рост контактных площадок под действием тангенциальной составляющей давления.

2. Получено распределение деформаций по сечению пряжи на разных этапах обжатия: до появления первой арки наиболее приоритетными деформированию являются проволоки внешнего повива и центральная проволока, после появления первой арки напряжения между проволоками внешнего и внутреннего повивов выравниваются, при появлении третьей и четвертой арок проволоки верхнего повива снова становятся наиболее приоритетными деформированию. Центральная проволока пряжи перенапря-

жена на всех этапах обжатия.

3. Применение предложенной методики позволит повысить качество конструирования прядей, подвергаемых пластическому обжатию, а также определить оптимальную величину обжатия пряжи конкретной конструкции.

Список литературы

1. Скалацкий В.К. Канаты из обжатых прядей // Стальные канаты: сб. науч. тр. Вып. 1. Киев: Техника, 1964. С. 152-158.
2. Исследование и разработка технологии изготовления нового вида продукции – стальных канатов с пластически обжатыми прядями в ОАО «Северсталь – метиз» / Трусов В.А., Капуткина Л.М., Силуянова Т.В., Филина Ю.С., Королев В.А. // Производство проката. 2011. № 10. С. 33-37.
3. Влияние пластического деформирования при волочении проволочных прядей в роликовой клети на механические свойства стальных канатов / Трусов В.А., Капуткина Л.М., Силуянова Т.В., Филина Ю.С., Королев В.А. // Производство проката. 2012. № 1. С. 41-44.
4. Глушко М.Ф., Скалацкий В.К., Малиновский В.А. Силовой анализ процесса кругового пластического обжатия прядей // Стальные канаты: сб. науч. тр. Вып. 9. Киев: Техника, 1972. С. 120-130.
5. Харитонов В.А., Лаптева Т.А. Методика определения контактных площадок при малом обжатии прядей // Изв. вузов. Черная металлургия. 2012. №4. С. 66-67.
6. Глушко М.Ф., Малиновский В.А. Определение усилия волочения прядей // Стальные канаты: сб. науч. тр. Вып. 10. Киев: Техника, 1973. С. 65-73.

Bibliography

1. Skalatsky V.K. The ropes from the pressed strands // Steel ropes: the collection of proceedings. Release 1. Kiev: Technics. 1964. P. 152-158.
2. Cowards of Century A, Kaputkina L.M., Silujanova T.V., Filina J.S., Queens V.A. Investigation and working out the manufacturing techniques of a new kind production – steel ropes with plastically pressed strands in Open Society «Severstal – hardware» //hire Manufacture, 2011, № 10. P. 33-37.
3. Cowards of Century A, Kaputkina L.M., Silujanova T.V., Filina J.S., V.A. Vlijanie's The influence of plastic deformation at drawing the wire strands in a roller cage on mechanical properties of steel ropes. //hire Manufacture, 2012, № 1. P. 41-44.
4. Glushko M. F., Skalatsky Century K, Malinovsky V. A. The power analysis of process circular plastic squeezing of the strands //Steel ropes: the collection of proceedings. Release 9. Kiev: Technics. 1972. P. 120-130.
5. Haritonov V.A., Lapteva T.A. The method of definition the contact platforms at small pressed strands // News of HIGH SCHOOLS, 2012, № 4. P. 66-67.
6. Glushko M. F., Malinovsky V.A. The definition of effort the pressed strands // Steel ropes: the collection of proceedings. Release 10. Kiev: Technics. 1973. P. 65-73.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

УДК 669.017

Усков И.В., Беляев С.В., Аникина В.И., Аникин А.И., Усков Д.И.

СОЗДАНИЕ СРЕДНЕТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРИПОЙНЫХ СПЛАВОВ, НЕ СОДЕРЖАЩИХ КАДМИЙ

В работе проведено теоретическое обоснование составов припойных сплавов типа ПСр40, не содержащих кадмий. Оценены сравнительные характеристики смачиваемости, по которым рекомендуются новые составы сплавов.

Ключевые слова: припой, пайка, диаграммы состояния, двойные системы.

In the work was carrying a theoretical study and a selection is made of compositions solder alloys such PSr40 that do not contain cadmium. Evaluated the comparative characteristics of wettability, which recommended new alloy compositions.

Keywords: soldering, brazing, the phase diagram, binary systems.

Целью данной работы было предложить состав среднетемпературных припойных сплавов на основе серебра, предназначенных для пайки проволоки, используемой в машиностроении.

Серебряные припои, выпускаемые промышленностью в соответствии с ГОСТ 19738–74, включают 32 марки, различающиеся по химическому составу, температуре плавления и физико-механическим свойствам. Припой ПСр40 является среднетемпературным с очень узким интервалом кристаллизации (590–610°C) и обеспечивает высокие электрофизические характеристики (удельное электросопротивление $7,0 \cdot 10^{-8}$ Ом·м). Однако в своем составе припой содержит 23,49–28,55 Cd, который является токсичным элементом, что делает актуальным разработку новых составов припоев на основе серебра.

Стандартом ГОСТ 19738–74 предусмотрены близкие по химическому составу к ПСр40 сплавы, не содержащие кадмия, такие как ПСр45 и ПСр37,5, однако оба эти сплава имеют значительно более высокую температуру плавления (ПСр45 – 665–730°C, ПСр37,5 – 725–810°C), а также повышенные значения удельного электросопротивления (соответственно $10 \cdot 10^{-8}$ Ом·м и $37,2 \cdot 10^{-8}$ Ом·м). Это обстоятельство накладывает ограничения на использование таких стандартных сплавов в качестве порошковых припоев взамен припоя ПСр40.

Для решения поставленной в работе задачи требуется провести анализ фазового и структурного состояния сплавов на основе серебра, легированного медью, цинком и кадмием, составляющих известный припойный сплав ПСр40, а также исследовать роль индия и других возможных добавок в случае введения их в состав сплава на основе известных двойных диаграмм состояния [1–4]. Применение данной методологии правомерно и было использовано при разработке новых припойных сплавов на основе палладия [5].

Основу припойных сплавов на основе серебра, получаемых различными технологическими процессами, составляет эвтектическая система Ag–Cu.

Использование этой системы и дополнительное

легирование другими компонентами позволяет получить достаточно большое число припойных сплавов, обладающих различными характеристиками по температуре плавления и свойствам, но имеющих один и тот же тип эвтектической структуры. Малый температурный интервал кристаллизации таких сплавов позволяет рекомендовать их для получения тонкодифференцированных металлических систем, что очень важно для создания высокопроизводительных технологий промышленного получения припоев.

Диаграмма состояния Ag–Cu [1] имеет типично эвтектический характер. При легировании сплава небольшими количествами растворимых компонентов они входят в состав твердых растворов, образующих эвтектику, без заметного изменения структурного состояния сплава.

Такую роль играют в припоях на основе серебра цинк, кадмий и индий. Между собой они также попарно образуют простые эвтектические системы, эвтектика в которых представляет собой физико-химическую смесь твердых растворов на основе взаимодействующих компонентов [1]. Температура эвтектики в системе цинк-кадмий значительно ниже (265°C), чем в системе Ag–Cu, а значит, одновременное легирование цинком и кадмием существенно понижает температуру плавления сплавов. Примерами таких припоев являются сплавы ПСр40, ПСрМЦКд45-15-16-24, ПСр50Кд.

Взаимодействие цинка и кадмия с основными компонентами – серебром и медью характеризуется фазовыми равновесиями в системах Ag–Zn, Ag–Cd, Cu–Zn и Cu–Cd, которые являются однотипными.

Во всех этих системах образуются типичные интерметаллические соединения электронного типа. Наряду с этим в них на основе основного компонента образуются достаточно широкие области твердых растворов.

Исключение составляет система Cu–Cd, в которой β -фаза может образоваться в сплаве уже при единицах процентов кадмия [1]. Образование β -фазы в сплавах, одновременно содержащих медь и кадмий, вызывает повышение их твердости и понижение пластичности.

Таким образом, использование кадмия в качестве легирующего компонента в припоях не всегда оказывает положительное влияние.

Изыскание альтернативных легирующих элементов применительно к припоям типа ПСр40 представляет интерес еще и с точки зрения улучшения технологичности сплава при получении проволоки или ленты методами обработки давлением. Образование интерметаллидов с кадмием сказывается на технологичности материала при его диспергировании в случае получения порошкового варианта припоя.

Поиск возможных заменителей кадмия в припое типа ПСр40 следует вести в области таких элементов, которые с основными компонентами (серебром и медью) образуют достаточно широкие области твердых растворов, и не взаимодействуют химически с цинком, являющимся третьим обязательным компонентом припоя ПСр40. Такими компонентами являются олово, алюминий, кремний, индий.

Как следует из соответствующих двойных диаграмм состояния [1], все альтернативные легирующие элементы образуют с цинком простые эвтектические системы, что отвечает требованию по отсутствию химического взаимодействия между цинком и рассматриваемыми компонентами. При этом, так же как и в сплавах с кадмием, цинк со всеми перечисленными компонентами образует низкоплавкие эвтектики, что способствует снижению температуры плавления сплава.

В случае комплексного легирования припоев несколькими компонентами, между ними обычно не происходит химического взаимодействия с образованием новых промежуточных фаз. На диаграммах Al-Sn, Al-Si и Sn-Si видно, что между этими компонентами также образуются простые эвтектические системы. Таким образом, легирование сплавов Ag-Cu-Zn такими элементами, как олово, алюминий и кремний, а также индий не приводит к принципиальному изменению структурного состояния сплавов и не вызывает образование каких-либо новых фазовых или структурных составляющих в припоях.

Для того чтобы реализовать такое влияние дополнительного легирования на рассматриваемую систему, необходимо лишь обеспечить твердорастворное состояние компонентов дополнительного легирования, исключая их химическое взаимодействие основными компонентами (серебром и медью).

Если химического взаимодействия рассматриваемых легирующих элементов с цинком не происходит во всем интервале концентраций, то с основными компонентами системы твердорастворного состояния дополнительных элементов можно добиться лишь путем ограничения их содержания в сплавах, поскольку практически во всех случаях взаимодействия серебра и меди с оловом, алюминием диаграммы состояния (Ag-Sn, Ag-Al, Cu-Sn, Cu-Al), так же как и с кадмием, и цинком (диаграммы состояния Cu-Cd, Ag-Cd, Zn-Cd), в системах образуются интерметаллидные соединения. Поэтому использование для дополнительного легирования олова и алюминия обеспечивает эффект, аналогичный кадмию в припоях, и их можно рассматривать, как его заменители.

Таким же образом влияет легирование индием. Количество вводимых добавок этих элементов должны

уточняться на основе экспериментальных исследований, однако интервалы возможных концентраций можно определить на основе анализа диаграмм состояния систем.

Ограничение содержания олова в сплавах обусловлено превращениями в системе Cu-Sn, которой определяется существенное изменение растворимости олова в меди при охлаждении в твердом состоянии. При комнатной температуре равновесное содержание олова в твердом растворе на основе меди не превышает нескольких десятых долей процента. Двухфазность, обусловленная переменной растворимостью, вызывает упрочнение сплава и уменьшение электропроводности. Поэтому для обеспечения высокой технологичности сплавов при обработке давлением и высокой электропроводности припоев содержание олова в сплаве должно быть не выше 1-2%.

Ограничение содержания алюминия в сплаве обусловлено аналогичным явлением в системе Ag-Al. В этой системе при понижении температуры от 450 до 200°C уменьшается растворимость алюминия примерно в 2 раза. Дальнейшее охлаждение также уменьшает равновесную концентрацию алюминия в твердом растворе до 1-1,5%.

Особым образом ведет себя кремний. Он образует простые эвтектики со всеми компонентами сплава, включая серебро. Причем, он очень мало растворим в твердом растворе на основе серебра. Поэтому весь кремний, находящийся в системе, может быть растворен лишь в твердом растворе на основе меди, неоднородно распределяясь в эвтектической структуре системы Ag-Cu. Ограничения по содержанию кремния, уменьшающего поверхностную энергию расплава и улучшающего условия растекания припоя при пайке, целесообразно ограничить соотношением между алюминием и кремнием, соответствующим образованию между ними эвтектической системы. При максимальном содержании алюминия в сплаве 2% содержание кремния целесообразно ограничить.

Проведенный анализ влияния различных компонентов на эвтектическую систему Ag-Cu позволяет определить возможность использования таких добавок на получение порошковых припоев, не содержащих кадмия. Кроме того, следует проанализировать роль еще одного фактора, который может сказываться на работоспособности припоев, изготавливаемых в виде порошков. Таким фактором может явиться способность к образованию устойчивых оксидных пленок на поверхности припоя, в том числе на поверхности каждой отдельной частицы, получаемой, например, методом распыления жидкой струи газовыми или жидкостными струями. Образование оксидных пленок на поверхности частиц может затруднять расплавление частиц, ухудшать условия смачивания припоем паяемых поверхностей, загрязнять оксидами паяный шов, уменьшать электропроводность припоя.

Поэтому из рассмотренных возможных добавок следует исключить такие компоненты, как алюминий и кремний, которые могут образовывать на поверхности частиц плотные, хотя и тонкие, не электропроводные пленки Al_2O_3 и SiO_2 . В этой связи возможными

легирующими добавками остаются индий (лучший вариант), а также, в небольших количествах, олово.

Однако, как было показано, олово очень сильно изменяет свою растворимость в меди, что может понижать пластичность припойного сплава, в связи с чем его добавки желательнее ограничить.

На основе выполненного анализа фазового и структурного состояния сплавов серебра, легированного в соответствующих количествах медью, цинком, оловом, алюминием, кремнием, индием, авторы статьи исследовали структурное состояние определенных припоев, оценили способности полученных припоев к смачиванию и растеканию.

Было исследовано структурное состояние экспериментальных припоев, посчитан температурный интервал кристаллизации по методике, предложенной В. С. Биронтом [6], характеризующий предложенные составы припоев как среднетемпературные.

Для оценки смачивающей способности и способности полученных припоев к растеканию был проведен следующий тест: навески припоев помещались на отфлюсованные монеты из медно-никелевого сплава и подвергались нагреву пламенем газовой горелки до температуры плавления припоев. Затем охлаждались на воздухе и протравливались в слабом растворе соляной кислоты.

На основе проведенных исследований были получены патенты припойных сплавов на основе серебра [7-9].

Список литературы

1. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справочник: в 3 т. Т. 1 / под общ. ред. Н. П. Лякишева. М.: Машиностроение, 1996. 992 с.: ил.
2. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справочник: в 3 т. Т. 2 / под общ. ред. Н. П. Лякишева. М.: Машиностроение, 1997. 1024 с.: ил.
3. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справочник: в

- 3 т. Т. 3. Кн. 1 / под общ. ред. Н. П. Лякишева. М.: Машиностроение, 2001. 872 с.: ил.
4. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справочник: в 3 т. Т. 3. Кн. 2 / под общ. ред. Н. П. Лякишева. М.: Машиностроение, 2001. 448 с.: ил.
5. Синтез ювелирных сплавов на основе палладия / И.В. Усков, В.И. Аникина, С.В. Беляев и др. // Вестник Сиб. гос. аэрокосмического ун-та им. акад. М.Ф. Решетнева. 2011. Вып. 7 (40) С. 155-162.
6. Материаловедение. Металловедение палладия и его сплавов: учеб. пособие / В.С. Биронт, Н.Н. Довженко, С.Н. Мамонов и др.; ГУЦМиЗ. Красноярск, 2007. 152 с.
7. Пат. 2335385 Российская Федерация, МПК В23К 35/30, С22С 5/06. Припой на основе серебра / Довженко Н.Н., Ходюков Б.П., Сидельников С.Б. и др. Оpubл. 10.10.2008, Бюл. № 28.
8. Пат. 2367552 Российская Федерация, МПК В23К 35/28, С22С 5/08. Припой на основе серебра / Довженко Н.Н., Сидельников С.Б., Биронт В.С. и др. Оpubл. 20.09.2009, Бюл. № 26.
9. Пат. 2367553 Российская Федерация, МПК В23К 35/28, С22С 5/08. Припой на основе серебра / Довженко Н.Н., Сидельников С.Б., Биронт В.С. и др. Оpubл. 20.09.2009, Бюл. № 26.

Bibliography

1. Diagrams of binary metal systems: Manual: In 3 vol. Tome 1 / Edited by N. P. Lyakisheva. M.: Mechanical engineering, 1996. 992 p.: il.
2. Diagrams of binary metal systems: Manual: In 3 vol. Tome 2 / Edited by N. P. Lyakisheva. M.: Mechanical engineering, 1997. 1024 p.: il.
3. Diagrams of binary metal systems: Manual: In 3 vol. Tome 3. B. 1 / Edited by N. P. Lyakisheva. M.: Mechanical engineering, 2001. 872 p.: il.
4. Diagrams of binary metal systems: Manual: In 3 vol.: Tome 3. B. 2 / Edited by N. P. Lyakisheva. M.: Mechanical engineering, 2001. 448 p.: il.
5. Synthesis of jewelry alloyson the basis of palladium / I.V. Uskov, V.I. Anikina, S.V. Belyaev, etc // Vestnik SibSAU named after M.F. Reshetnyova, V 7 (40). P. 155-162.
6. Materials. Metallography of palladium and its alloys: Textbook / V.S. Biront, N.N. Dovzhenko, S.N. Mamonov, etc. GUNMA. Krasnoyarsk, 2007. 152 p.
7. Russian Federation patent 2335385, IPC B23K 35/30, C22C 5/06. Solder on the basis of argentum / Dovzhenko N.N., Chodukov B.P., Sidelnikov S.B., etc. Published 10.10.2008, Newsletter № 28.
8. Russian Federation patent 2335385, IPC B23K 35/30, C22C 5/06. Solder on the basis of argentum / Dovzhenko N.N., Sidelnikov S.B., Biront V.S., etc. Published 20.09.2009, Newsletter № 26.
9. Russian Federation patent 2335385, IPC B23K 35/30, C22C 5/06. Solder on the basis of argentum / Dovzhenko N.N., Sidelnikov S.B., Biront V.S., etc. Published 20.09.2009, Newsletter № 26.

УДК 669.017:539 4; 669.017:539 52

Крутикова И.А., Панфилова Л.М., Смирнов Л.А.

ФРАКТОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛОМОВ СТАЛЕЙ, МИКРОЛЕГИРОВАННЫХ ВАНАДИЕМ И АЗОТОМ

Данная работа является логическим продолжением исследования [1], посвященного проблеме замедленного разрушения (ЗР). В работе [1] изучалось влияние различных факторов, а именно химического состава, структурных и технологических параметров на склонность сталей к ЗР. Основным направлением работы [1] являлось систематическое исследование влияния основного легирования (Cr, Ni, Si) и микролегирования ванадием и азотом на сопротивление сталей ЗР в условиях агрессивной среды. В настоящей работе ставилась сложная задача выявления механизмов ЗР методами фрактографии. Сравнительный анализ особенностей разрушения исследуемых сталей, а именно сталей, микролегированных ванадием и азотом 35ХАФ, и стали, традиционно используемой для изготовления болтов, 40Х, после испытаний на растяжение на воздухе и ЗР в агрессивной среде позволил подтвердить идею о ведущей роли водорода в механизме ЗР.

Ключевые слова: замедленное разрушение, микролегирование ванадием и азотом, водородное охрупчивание, коррозионное растрескивание.

The work is a logic continuation of the research [1] devoted to a problem of delayed fracture (DF). The influence of various factors, namely a chemical compound, structural and technological parameters on propensity of steel to DP was studied in the work [1]. The basic direction of the work [1] was the regular research of a influence of the basic alloying (Cr, Ni, Si) and microalloying by vanadium and nitrogen on resistance of steel to DF in conditions of aggressive environment. In the present work the complicated problem of revealing of mechanisms DF by fractographic methods was put. The comparative analysis of features of fractures of researched steels namely steels of vanadium and nitrogen microalloyed 35CrNV and the steel traditionally used for manufacturing of bolts, 40Cr, after tests for a stretching for air and DF in an excited environment has allowed to confirm idea about the leading part of hydrogen in DF mechanism.

Keywords: the delayed fracture, microalloying by vanadium and nitrogen; hydrogen embrittlement, corrosion cracking.

1. Материалы и методика испытаний

1.1 Материал исследования

В качестве объектов исследования в работе выступали среднеуглеродистые стали лабораторной выплавки с примерным содержанием углерода 0,35%: сталь с ванадием и азотом и с пониженным содержанием углерода 35ХАФ, а также традиционно используемая для болтов сталь 40Х. Химический состав сталей представлен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав

Марка стали	Номер плавки	Элемент, вес. %										
		C	Mn	Si	Cr	V	Al	S	P	Mo	Cu	N
40Х	181	0,39	0,62	0,30	1,10	-	0,020	0,023	0,023	-	0,20	-
35ХАФ	188	0,35	0,65	0,24	1,12	0,120	0,025	0,005	0,012	-	0,22	0,018

Примечание. Содержание водорода в плавке стали 40Х составляет 0,0005%, а в плавке стали 35ХАФ – 0,00025%.

Фрактографическое исследование строилось на сравнительном анализе характера изломов образцов исследуемых сталей после испытаний на растяжение на воздухе (ГОСТ 1497-84) и испытаний на замедленное растяжение в агрессивной среде (3% раствор NaCl в дистиллированной воде с добавлением соляной кислоты до pH=2.2) на образцах с надрезом [1]. Предварительно все образцы подвергались термической обработке в заготовках, а именно закалке в соляной ванне в течение 20 мин при следующих температурах: сталь 40Х – 880°C; 35ХАФ – 950°C. Отпуск производился при температурах 200, 600°C в течение 2-х часов. Образцы после отпуска охлаждались на воздухе [1].

1.2 Результаты фрактографических исследований

Фрактографический анализ изломов проводили визуально, а также с помощью стереоскопического бинокулярного электронного микроскопа Tesla BS-500 с ускоряющим напряжением 90 кВ. В последнем случае использовали методику экстракционных реплик.

С точки зрения степени развития рельефа поверхности разрушения исследуемые изломы были классифицированы на 4 основных типа. На рис. 1 представлены микрофотографии общего вида изломов.

I тип характеризуется тем, что основная (кроме кольцевой зоны среза) плоскость разрушения, ориентирована перпендикулярно оси нагружения. В пределах этого типа излома степень развитости рельефа может изменяться в широких пределах, одной из его характеристик является высота «холмов» рельефа.

II тип характеризуется дополнительно тем, что основную плоскость разрушения пересекают ориентированные перпендикулярно плоскости надреза образца вырывы («языки») металла, ограниченные, по крайней мере, с одной стороны гладкой поверхностью расслоения.

Будем различать тип излома II-A, соответствующий одной основной плоскости разрушения, и тип II-B, соответствующий двум или нескольким плоскостям разрушения, ориентированным перпендикулярно оси образца и соединенным ступеньками среза или расслоения.

III тип характеризуется сложным строением рельефа излома, когда трещина распространяется по спиральной образующей по отношению к оси образца. Обычно этот тип излома соответствует разрушению образцов в условиях кручения.

IV тип отличается особо сложным строением рельефа излома, совмещающим частично признаки II-B и III типов изломов. Подобный тип изломов возникает в случае зарождения трещин в нескольких очагах и их одновременного роста с последующим разрывом перемычки между трещинами, расположенными на различных уровнях.

Был проведен детальный анализ тонкого строения поверхности разрушения образцов сталей 40Х и 35ХАФ, кратковременно разрушенных на воздухе и в агрессивной среде. Наиболее общей характерной особенностью строения изломов образцов, испытанных как в условиях растяжения на воздухе, так и в условиях агрессивной среды при испытании на задержанное разрушение, является наличие кольцевой зоны среза, которая была определена как зона №1. Наиболее четко она проявляется в случае статического растяжения образцов на воздухе. При испытании на задержанное разрушение эта зона выражена не всегда четко, а иногда и отсутствует в месте пересечения плоскости расслоения с поверхностью образца.

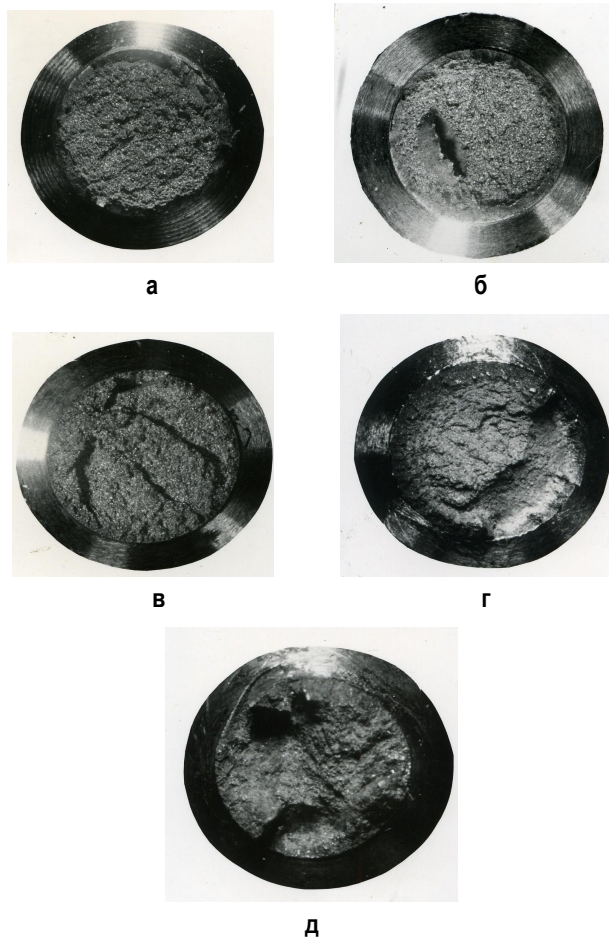


Рис. 1. Фотографии общего вида изломов, x10:
а – тип I; б – тип II А; в – тип II Б; г – тип III; д – тип IV

Наибольший интерес представляли волокнистая зона – зона №2 и зона с элементами квазискола и хрупкого скола – зона №3.

По степени волокнистости поверхности разрушения исследуемых сталей различались довольно широко (табл. 2). Максимальная волокнистость поверхности изломов обнаружена у стали 35ХАФ (после закалки и отпуска при 600°C) в случае статического растяжения на воздухе. Хрупкое кристаллическое разрушение преобладает на образцах стали 40Х (после закалки и отпуска при T=200°C) как при статическом нагружении на воздухе, так и при испытаниях в агрессивной среде.

В качестве сравнения на рис. 2 и 3 представлены характерные изломы поверхности разрушения сталей 35ХАФ и 40Х соответственно после испытаний на воздухе и в агрессивной среде, в табл. 2 – более детальный анализ поверхности разрушения исследуемых сталей.

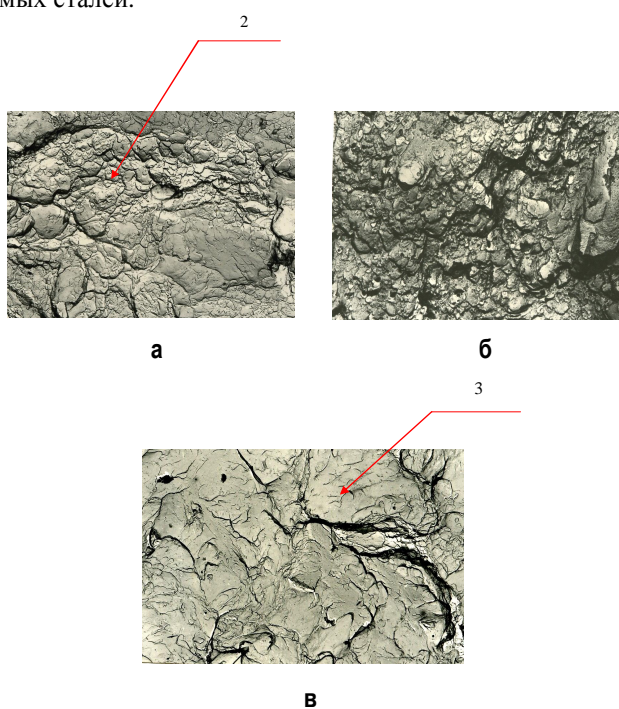


Рис. 2. Микрофотографии поверхности разрушения образцов стали 35ХАФ, испытанных после отпуска при T=600°C: на воздухе (а), в агрессивной среде (б) и при T=200°C в агрессивной среде (в), x2200

Так, в изломе образцов из стали 35ХАФ, отпущенных при T = 600°C после испытаний на воздухе и в агрессивной среде, кристаллическая зона отсутствует, волокнистая зона занимает большую долю (рис. 2, а и б соответственно). Влияние агрессивной среды прослеживается в уменьшении вклада волокнистой составляющей и увеличении доли зоны кольцевого среза. На поверхности излома образцов после испытаний в агрессивной среде (см. рис. 2, б) видны многочисленные микропоры. Аналогичная картина наблюдается на образцах из стали 40Х, отпущенных при T=600°C после испытаний на воздухе (рис. 3, а). На поверхности излома образцов из стали

40Х после испытаний в агрессивной среде также были обнаружены микропоры, размеры которых превосходили размеры пор на образцах из стали 35ХАФ (рис. 3, б).

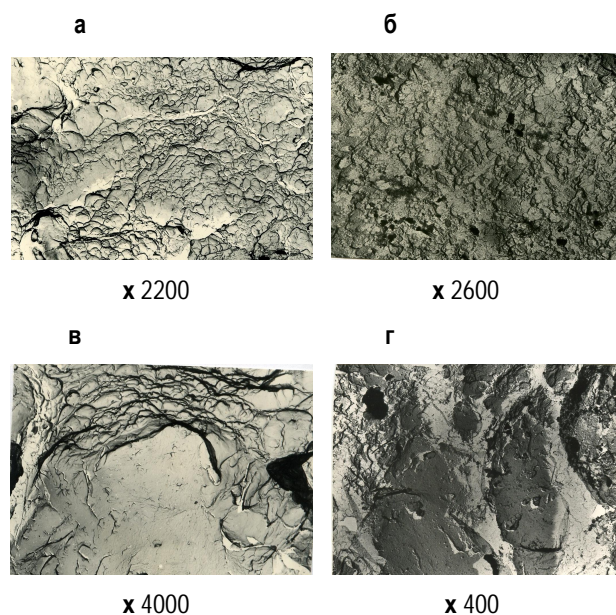


Рис. 3. Микрофотографии поверхности разрушения образцов стали 40Х, испытанных после отпуска при T=600°C на воздухе (а), в агрессивной среде (б) и при T=200°C на воздухе (в), в агрессивной среде (г)

Излом образцов из стали 35ХАФ, отпущенных при T=200°C после испытаний на воздухе, можно определить как сухой волокнистый с двумя основными зонами – волокнистой и кольцевой зоной среза. Однако доля волокнистой составляющей на образцах после отпуска при T=200°C меньше, чем на образцах после отпуска при T=600°C (см. табл. 2). После испытаний в агрессивной среде наблюдается усложнение излома: волокнистая зона приобретает выраженный рельеф и содержит расслоения (см. табл. 2); тип излома меняется от I к II А и II Б. На части поверхности разрушения образцов появляются участки квазискола с слабо выраженными вторичными трещинами (рис. 2, в).

Сталь 40Х после отпуска при T = 200°C проявляет более сильную тенденцию к охрупчиванию после испытаний в агрессивной среде по сравнению с изломами образцов после испытаний на воздухе (рис. 3, в): большую часть занимает кристаллическая зона с ярко выраженным рельефом, расслоениями, микропорами, вторичными трещинами с резко выраженным изменением типа излома от II Б к IV (рис. 3, г, табл. 2).

В процессе фратографического исследования установлена тенденция усложнения рельефа излома при испытании на ЗР образцов всех исследуемых сталей по сравнению с кратковременным разрывом на воздухе. Причем степень развитости изломов после испытаний на ЗР проявляется за счет протекания в агрессивной среде процесса расслоения металла.

Таблица 2

Характеристики строения изломов образцов исследуемых сталей

Марка стали, обработка, среда испытаний	Режим испытаний	Тип излома	ρ	L, мм	N	Характеристика строения изломов по зонам	Максимальная ширина зон, мм			Примечание
							I	II	III	
35ХАФ, отпуск 600°C, воздух	Статич. растяжение	I	0		2	1. Кольцевая зона среза. 2. Волокнистая зона с развитым рельефом	0,15	3,70		
	Статич. растяжение	I	0		2	1. Кольцевая зона среза. 2. Волокнистая зона с развитым рельефом	0,175	3,65		
35ХАФ, отпуск 600°C, корроз. среда	0,8 $\sigma_{вн}$	II A	2	0,44 0,32	2	1. Кольцевая зона среза. 2. Волокнистая с развитым рельефом и расслоением	0,275	3,45		
	0,9 $\sigma_{вн}$	II A	0		2	1. Кольцевая зона среза. 2. Волокнистая с развитым рельефом	0,30	3,40		
35ХАФ, отпуск 200°C, воздух	Статич. растяжение	I	0		2	1. Кольцевая зона среза. 2. Волокнистость с развитым рельефом	0,25	3,40		
	Статич. растяжение	I	0		2	1. Кольцевая зона среза. 2. Волокнистость с развитым рельефом	0,25	2,90		
35ХАФ, отпуск 200°C, корроз. среда	0,7 $\sigma_{вн}$	II A	4	10,57 20,43	2	1. Отдельные участки среза прерываются плоскостями расслоения. 2. Волокнистый с развитым рельефом и расслоением	0,75	2,40		
	0,75 $\sigma_{вн}$	II Б	1	0,66	2	1. Отдельные участки среза, прерываемые плоскостями расслоения. 2. Волокнистый с расслоением с участками квазискола	0,245	3,50		
40Х, отпуск 600°C, воздух	Статич. растяжение	I	0		2	1. Кольцевая зона среза. 2. Волокнистая зона с развитым рельефом	0,20	3,35		
	Статич. растяжение	I	0		2	1. Кольцевая зона среза. 2. Волокнистая зона с развитым рельефом	0,22	3,4		
40Х, отпуск 600°C, корроз. среда	0,8 $\sigma_{вн}$	II A	2		2	1. Кольцевая зона среза. 2. Волокнистая зона с развитым рельефом и расслоением	0,3	3,15		
	0,9 $\sigma_{вн}$	II A	0		2	1. Кольцевая зона среза. 2. Волокнистая зона с развитым рельефом и расслоением	0,35	3,0		
40Х, отпуск 200°C, воздух	Статич. растяжение	I	0		2	1. Кольцевая зона среза. 2. Смешанный (волокнистый и кристаллический.) с развитым рельефом с расслоением	0,30		3,25	Высота холмов в зоне 2 h=0,22 мм
	Статич. растяжение	I	0		2	1. Кольцевая зона среза. 2. Смешанная с развитым рельефом и расслоением	0,30		3,40	
40Х, отпуск 200°C, корроз. среда	0,8 $\sigma_{вн}$	II Б	7	1. 0,70 2. 0,57 3. 0,40	2	1. Кольцевая зона среза выражена слабо и прерывается. 2. Кристаллическая с развитым рельефом и расслоением	0,125		3,875	h=0,7 b 0,57 мм
	0,5 $\sigma_{вн}$	IV	4	1. 0,25 2. 0,42 3. 0,80 4. 0,47	2	1. Кольцевая зона среза со слабо выраженным рельефом, прерывающимся у расслоя. 2. Кристаллическая с чрезмерно развитым рельефом	0,20		3,6	Видны три очага зарождения трещины

Примечание. ρ – число расслоений вдоль нагружения; L – протяженность плоскости расслоения; N – число зон разрушения; Зона I – кольцевая зона среза; Зона II – волокнистая зона; Зона III – зона смешанная или кристаллическая.

Интересно, что стали, склонные к расслоению при кратковременном разрыве на воздухе, характеризуются пониженным сопротивлением статической усталости в агрессивной среде. По-видимому, расслоение способствует то обстоятельству, что схема нагружения на стенде обуславливает появление крутящего момента на образце. В результате перпендикулярно плоскости расслоения действуют растягивающие напряжения. Растягивающие напряжения возникают также из-за трехосности напряженного состояния в

объеме металла у основания надреза. Однако для проявления склонности к расслоению, по-видимому, необходим более высокий уровень напряжений.

Действительно, предположение о влиянии расслоения на повышение склонности к ЗР представляется существенным. Возможно, что развитие напряжений, нормальных к плоскости расслоения (прокатки), вызывает дальнейший рост уровня локальных напряжений в локальных объемах металла. Как следствие этого, вероятно, будет происходить стимулирование

процессов анодного растворения металла в местах пересечения плоскостей расслоения с поверхностью образца и интенсификация наводороживания растянутых зон расслоения вдоль плоскостей прокатки. Последнему процессу будет способствовать предпочтительное расположение неметаллических включений вдоль плоскостей прокатки, особенно в стали 40X, имеющей меньшую чистоту по неметаллическим включениям. Оба процесса (анодное растворение и наводороживание) могут стимулировать раскрытие трещин плоскостей расслоения.

Появление субмикротрещины на поверхности образца способствует раскрытию трещин вдоль плоскостей расслоения. В результате агрессивная среда проникает внутрь металла и инициирует микротрещину, а затем и трещину критического размера.

Часто наблюдаемые случаи выхода плоскостей расслоения на поверхность образца и отсутствие в этих областях зон среза согласуется с предполагаемым влиянием микрорасслоений на процесс ЗР.

Подтверждением наших предположений являются результаты работы [2], где отмечалось, что микрорельеф изломов наводороженных образцов свидетельствует об охрупчивании по границам зерен. При этом разрушение происходит преимущественно сколом и расщеплением по сравнению с вязким характером разрушения исходных образцов.

Обсуждение результатов фрактографического исследования

В данной работе были установлены следующие особенности разрушения образцов исследуемых сталей после длительных испытаний в агрессивной среде:

- микрорельеф образцов с модифицированной структурой отличается наличием характерных для замедленного разрушения ветвящихся вторичных субмикротрещин и трещин;

- значительно большая концентрация микродефектов и микротрещин, особенно микропор в образцах, испытываемых в агрессивной среде;

- микрорельеф изломов образцов после испытаний в агрессивной среде свидетельствует об охрупчивании по границам зерен (сталь 40X), при этом характер излома сложный. Разрушение происходит преимущественно сколом, расщеплением и расслоением, в отличие от вязкого механизма разрушения при статическом растяжении на воздухе после высокого отпуска.

Также в ходе фрактографического анализа были установлены основные тенденции:

1. Положительное влияние высокого отпуска на характер разрушения после испытаний на воздухе и в агрессивной среде.

2. Усложнение характера разрушения после испытаний в агрессивной среде.

3. Проявление более резкой тенденции к охрупчиванию у стали 40X при испытаниях на воздухе при $T = 200^{\circ}\text{C}$ и в агрессивной среде.

Результаты данного исследования во многом подтверждают результаты работ [3, 4], где высказывается идея о ведущей роли водорода в механизме разрушения в агрессивной среде. Так, в работе [3] при проведении фрактографического исследования изломов

образцов, испытанных в агрессивной среде, на поверхности разрушения были обнаружены вторичные трещины, располагающиеся перпендикулярно основному направлению трещины.

В работе [4] также указываются основные микрофрактографические признаки в изломе, обусловленные воздействием водорода, во многом совпадающие с результатами данной работы. Разрушение стали под воздействием водорода может протекать как межкристаллитно, так и транскристаллитно по отношению к бывшему аустенитному зерну. Транскристаллитный излом обозначается как квазискольный с рельефной структурой, где достаточно часто встречаются поры. На поверхности межкристаллитного излома наблюдаются ветвящиеся вторичные трещины, волосовины и микропоры по границам зерен. Таким образом, анализ результатов данной работы и работ [3,4] позволяет сделать предположение о ведущей роли водорода в процессе замедленного разрушения в агрессивной среде.

Другим важным результатом фрактографического исследования является качественное подтверждение зависимости статической усталости от температуры отпуска, с одной стороны, и микролегирования ванадием и азотом, с другой стороны. Результаты фрактографического исследования коррелируют с данными испытаний на замедленное разрушение [1].

Если обратиться к результатам работы [1], самый низкий предел статической усталости продемонстрировали образцы после испытаний в агрессивной среде, предварительно закаленные и отпущенные при $T = 200^{\circ}\text{C}$. Низкие значения статической усталости образцов сталей после отпуска при 200°C обусловлены, по-видимому, неблагоприятным влиянием локальных «пиковых» микронапряжений, как утверждал Саррак В.И. с сотрудниками в работе [5]. В работе [6] автор также оперирует к общеизвестному факту, что границы аустенитных зерен являются местами преимущественного распространения трещин. Однако после качественной термообработки первоначальные аустенитные зерна не существуют в области водородного трещинообразования ($T < 100^{\circ}\text{C}$). Их место расположения отмечается карбидами, сегрегациями (Al, Sb, Sn, P и др.), сульфидами, дающими места для рекомбинации. Можно предположить, что в данном исследовании ввиду высокой чистоты сталей, прошедших закалку и низкий отпуск, именно первичные карбиды отмечают расположение бывших аустенитных зерен. Благодаря исследованиям японских ученых [7-9], доказавших, что карбиды ванадия являются ловушками водорода, можно с уверенностью утверждать, что причиной замедленного разрушения высокопрочных среднеуглеродистых сталей после низкого отпуска является неблагоприятное расположение водорода по границам бывших аустенитных зерен.

Процесс разрушения еще более активизируется в случае формирования после термообработки структуры с сохранившимися границами аустенитного зерна. Подобная идея была высказана авторами работы [10], посвященной изучению причин разрушения стальной оси – детали подвески конькобежного центра (Крылатское, г. Москва). Комплексными исследованиями было установлено, что разрушение зародилось в центральной области и происходило по мере протекания

замедленного разрушения по механизму водородного охрупчивания. Развитие разрушения было спровоцировано влиянием нескольких факторов. Одним из основных факторов явилось формирование грубой закалочной структуры верхнего бейнита и остаточного аустенита внутри фактически не затронутых границ аустенитного зерна. Кроме того, в центральной области были обнаружены трещины – флокены, технологический дефект типа усадочной рыхлости и микротрещины с крупными скоплениями неметаллических включений – силикатов и сульфидов, которые являются «ловушками водорода».

Саррак В.И., делая акцент на стадийность замедленного разрушения, указал на его связь с усталостным разрушением вдоль исходных аустенитных зерен, где локальные остаточные напряжения особенно велики. В работах других ученых [11-14], посвященных изучению природы замедленного разрушения, также отмечается сходство процесса трещинообразования в условиях усталости и замедленного разрушения.

С другой стороны, с повышением температуры отпуска (600°C) долговечность образцов сталей в агрессивной среде увеличивается [1], хотя при этом снижается исходный предел прочности. У сталей, легированных ванадием (особенно 35ХАФ, 40ХФ), значения σ_b^H выше, чем у стали 40Х соответственно: 1750, 1700 и 1450 Н/мм² [1]. Следует отметить, что для сталей с ванадием, ванадием и азотом наилучшие значения сопротивления замедленному разрушению, по сравнению с традиционной применяемой сталью 40Х получены после отпуска при температурах 200 и 600°C . В целом, повышение температуры отпуска до 60°C , хотя и снижает исходный уровень прочности образцов сталей по сравнению с температурой отпуска 200°C , но увеличивает значения статического предела усталости от 500 до 1300 Н/мм² (для стали 35ХАФ). По-видимому, повышение трещиностойкости сталей и сплавов, индуцированное водородом, связано с интенсивным выделением карбидов или карбонитридов ванадия в этой области высоких температур отпуска. Введение ванадия повышает сопротивление сталей хрупкому разрушению, поскольку фазы с ванадием, являясь сильными ловушками водорода [7-9], понижают коэффициент диффузии водорода и способствуют более равномерному распределению водорода внутри зерен. Причем влияние нитридов ванадия более сильное, чем карбидов ванадия [15]. Это обусловлено различной растворимостью нитридов ванадия и карбидов ванадия и большей движущей химической силой выделения нитридов. Лагнеборг Р. в работе [16] дает физическое обоснование этому факту. В случае карбонитридов упрочнение частицами реализуется по механизму Орована – огибанием дислокациями частиц. В этом случае основным параметром является расстояние между частицами в плоскости скольжения. В свою очередь оно определяется плотностью выделений, которая контролируется химической движущей силой выделения карбонитридов ванадия. Установлено, что эта сила резко возрастает с увеличением содержания азота. Поэтому в высокоазотистых сталях выделяются более плотные и равно-

мерно распределенные выделения, чем в малоазотистых. В качестве иллюстрации представлен электронный снимок структуры стали 35ХАФ образца [17], вырезанного из термообработанного болта (рис. 4). Наличие наноразмерной нитридной и карбонитридной фазы в стали 35ХАФ снижает количество водорода в местах концентрации напряжений. С этой точки зрения можно объяснить наши результаты. Образцы после закалки и высокого отпуска ($T = 600^{\circ}\text{C}$) имеют самый высокий предел статической усталости [1].

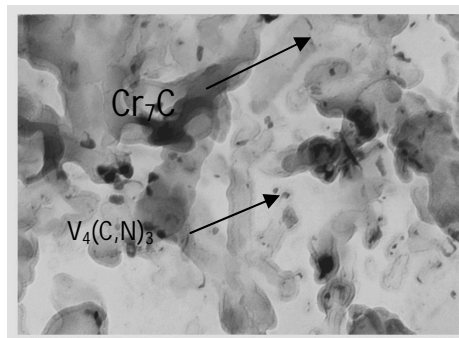


Рис. 4. Электронный снимок структуры стали 35ХАФ (реплика), $\times 70.000 \times 1,5$

С другой стороны, как было установлено в работе [18], нитриды ванадия значительно снижают зернограничную сегрегацию Р и других вредных примесей (As, Sn и др.), что является следствием повышения свободной энергии матрицы зерна по сравнению с энергией зернограничных участков. Такое соотношение свободной энергии матрицы и зернограничных выделений в сталях, микролегированных ванадием и азотом, связано, во-первых, с уменьшением расстояния между включениями, во-вторых, со значительным вкладом в повышение свободной энергии матрицы зерна полей напряжений вокруг некогерентных включений, к которым относятся и нитриды ванадия. Благодаря остроугольной форме нитриды ванадия VN создают поля напряжений с компонентами сжатия и растяжения, что является необходимым условием для стока вакансий, элементов внедрения и замещения.

Учитывая сходство явлений замедленного разрушения и усталости, данные исследования [5], где установлено, что более высокими усталостными свойствами в многоцикловой области (т.е. больше 10^4) обладают стали после закалки и высокого отпуска, можно рассматривать как подтверждение результатов зависимости статической усталости от температуры отпуска.

В нашей работе также изучалось влияние важного структурного фактора – размера исходного аустенитного зерна – на склонность стали к замедленному разрушению. Ранее в работе [17] было показано, что с увеличением размера аустенитного зерна склонность к появлению субмикротрещин возрастает, что связано с соответствующим укрупнением пластин мартенсита. Эти результаты нашли свое подтверждение в нашей работе. Так, при проведении металлографического исследования было установлено, что величина зерна и соответственно игл мартенсита сталей 40Х и 35ХАФ

различается и составляет 7-8 баллов (31-22 мкм) и 12-13 баллов (5-3 мкм) соответственно, поэтому, видимо, и сопротивление замедленному разрушению после отпуска при 200°C у стали 40X меньше, чем у стали с ванадием и составляет 460 Н/мм² [1].

Заключение

В данной работе был проведен сравнительный фраттографический анализ изломов образцов, подвергнутых кратковременным испытаниям на воздухе и длительным испытаниям в агрессивной среде. Было установлено положительное влияние на характер разрушения образцов в агрессивной среде следующих факторов: повышение температуры отпуска, микролегирование ванадием и азотом, измельчение зерна. Результаты, полученные в ходе данной работы и в работе [1], подтверждают не только идею о ведущей роли водорода в замедленном разрушении высокопрочных среднеуглеродистых сталей в агрессивной среде, но и представление о механизме водородного охрупчивания, предложенном в работах [1, 17]. По-видимому, понижение трещиностойкости сталей и сплавов, индуцированное водородом, связано с его неблагоприятным расположением по границам бывших аустенитных зерен. Поскольку введение ванадия повышает сопротивление сталей хрупкому разрушению, основываясь на результатах работ японских ученых [7-9], можно утверждать, что карбонитриды ванадия, являясь сильными ловушками водорода, способствуют более равномерному распределению водорода внутри зерен. С этой точки зрения можно объяснить наши результаты. Как было установлено в работе [1], образцы из стали с ванадием после закалки и высокого отпуска ($T = 600^\circ\text{C}$) имеют самый высокий предел статической усталости. Вероятно, это связано с интенсивным и равномерным выделением карбидов или карбонитридов ванадия внутри зерна.

Список литературы

1. Крутикова И.А., Панфилова Л.М., Смирнов Л.А. Анализ влияния различных факторов на замедленное разрушение крепежных соединений конструкций // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2012. №2. С. 68-74.
2. Тетюева Т. В. и др. Закономерности повреждаемости низколегированной стали в коррозионно-активных сероводородсодержащих средах // ФХММ. 1990. №2. С. 27-33.
3. Екобори Т. Физика и механика разрушения и прочности твердых тел: пер. с англ. М.: Металлургия, 1971. 280 с.
4. Энгель Л., Клингеле Г. Растровая электронная микроскопия. Разрушение. М.: Металлургия, 1986. 230 с.
5. Саррак В. И., Филиппов Г. А. Задержанное разрушение закаленной стали // Проблемы металловедения и физики металлов. М.: Металлургия, 1973. Т. 2. 134 с.
6. Muser M., Schmidt V. Fractography and mechanism of hydrogen cracking – the fish-eye concept // Proc. 6th Internat. Conf. on Fracture. 1984. Vol. 4. P. 24-26.
7. Asahi H., Hirakami D. and Yamasaki S. Hydrogen trapping behavior in vanadium-added steels // ISIJ International. 2003. Vol. 43, №4. P. 527-533.
8. Yamasaki S., Masubuki, Toshimi T. // Nippon Steel Tech. Report. 1999. July, №80. P. 50-55.
9. Namimura Y. et al. Development of steels for high-strength bolts with excellent delayed fracture resistance // Wire J. Int. 2003. Vol. 36, N 1. P. 62-67.
10. Анализ эксплуатационного разрушения крупной стальной оси и разработка мер для его предотвращения / Одесский П.Д., Филиппов Г.А.,

- Ливанова О.В., Гневко А.Н., Кулик В.Ю., Егорова А.А. // Сталь. 2010. №11. С. 83-91.
11. Саррак В.И., Филиппов Г.А. О природе инкубационного периода задержанного разрушения закаленной стали // ФММ. 1974. Т. 32, №6. С. 126-130.
12. Иванова В.С., Терентьев В.Ф. Природа усталости металлов. М.: Металлургия, 1975. 456 с.
13. Фраттографическое и акустико-эмиссионное наблюдение зарождения интеркристаллитной трещины при замедленном разрушении / Забильский В.В., Бартечев О. А., Величко В. В., Полонская С. М. // ФММ. 1986. Т. 62, вып. 4. С. 793-800.
14. Фраттографическое исследование роста усталостных трещин в низкоуглеродистых сталях / Романив О.Н., Деев Н.А., Гладкий Я.Н., Студент А.З. // ФХММ. 1975. Т. 11, №5. С. 23-28.
15. Зайяц С. Выделение фаз и измельчение зерна в ванадийсодержащих сталях // Сб.: Использование ванадия в стали. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. С. 225-258.
16. Роль ванадия в микролегированных сталях / Лагнеборг Р., Сивецки Т., Зайяц С., Хатчинсон Б. // Scand. j. of Metall. V. 22, issue 5. October 1999. Mungaard, Copenhagen; пер. с англ. Екатеринбург: ГНЦ РФ УИМ, 2001. 108 с.
17. Крутикова И.А., Панфилова Л.М., Смирнов Л.А. Исследование склонности к замедленному разрушению высокопрочных болтовых сталей, микролегированных ванадием и азотом // Металлург. 2010. №1. С. 59-64.
18. Романив О. Н. Вязкость разрушения конструкционных сталей. М.: Металлургия, 1979. 175 с.

Bibliography

1. Krutikova I.A., Panfilova L.M., Smirnov L.A. The analysis of influence of various factors on the delayed fracture of fixing connections of designs. // Vestnik MGTU by G.I. Nosov. 2012. №2. P. 68-74.
2. Tetjueva T.V., etc. Laws of damageability of low-alloy steel in corrosion-active hydrogen-sulphide environments // The physical and chemical mechanics of materials. 1990. №2. P. 27-33.
3. Ekobory T. Physics and mechanics of destruction and strength of solid bodies, Translation from English. M.: Metallurgy, 1971. 280 p.
4. Engel L., Klingel G. Raster electronic microscopy. Destruction. M.: Metallurgy, 1986. 230 p.
5. Sarrak V.I., Phillipov G.A. The delayed fracture of the hardened steel. In.: Problems of metallurgical science and physics of metal. 1973. №2. 134 p.
6. Muser M., Schmidt V. Fractography and mechanism of hydrogen cracking – the fish-eye concept // Proc. 6th Internat. Conf. on Fracture. 1984. Vol. 4, P. 24-26.
7. Asahi H., Hirakami D. and Yamasaki S. Hydrogen trapping behavior in vanadium-added steels // ISIJ Int. 2003. Vol. 43, №4. P. 527-533.
8. Yamasaki S., Masubuki, Toshimi T. // Nippon Steel Tech. Report. 1999. July, №80. P. 50-55.
9. Namimura Y. et al. Development of steels for high-strength bolts with excellent delayed fracture resistance // Wire J. Int. 2003. Vol. 36, N 1. P. 62-67.
10. Odesskij P.D., Filippov G.A., Livanova O.V., Gnevko A.N., Kulik V.J., Egorova A.A. Analysis of exploitation destructions of a large steel axis and development of measures for its prevention // Steel. 2010. №11. С. 83-91.
11. Sarrak V.I., Phillipov G.A. About a nature of the incubatory period of the delayed fracture of the steel // Physics of metals and metallurgical science. 1974. Vol. 32, №6. P. 126-130.
12. Ivanova V.S., Terentjev V.F. Nature of metal fatigue. M.: Metallurgy, 1975. 456 p.
13. Zabilskiy V.V., Bartenev O.A., Velichko V.V., Polonskja S.M. Fractographic and acoustic-issue observation of an origin of intercrystalline cracks at delayed fracture // Physics of metals and metallurgical science. 1986. Vol. 62, №4. P. 793-800.
14. Romaniv O.N., Deev N.A., Gladkij J.N., Student A.Z. Fractographic research of growth of fatigue crack in low – tempered steel // The physical and chemical mechanics of materials. 1975. Vol. 11, №5. P. 23-28.
15. Zajac S. Precipitation and grain refinement in vanadium-containing steels. In.: Use vanadium in steel. Ekaterinburg: UDRAS, 2002. P. 224-258.
16. Lagenborg R., Siwecki T., Zajac S., Hutchinson B. The role of vanadium in microalloyed steel // Scand. j. of Metall. 1999. Vol. 22, №5. Mungaard, Copenhagen; Translation from English. Ekaterinburg: UIM, 2001. 108 p.
17. Krutikova I.A., Panfilova L.M., Smirnov L.A. Investigation of static fatigue tendency for high strength bolt steels micro alloyed by vanadium and nitrogen // Metallurgist. 2010, №1. P. 59-64.
18. Romaniv O.N. Viscosity of constructional steel destruction. M.: Metallurgy, 1979. 175 p.

НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.778.1.014-426-022.532

Чукин М.В., Корчунов А.Г., Голубчик Э.М., Полякова М.А., Гулин А.Е.

АНАЛИЗ МЕТОДА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕФОРМАЦИОННОГО НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЯ ПРОВОЛОКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНЦЕПЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАСЛЕДОВАНИЯ

На основе анализа многооперационных технологических процессов разработана классификация наследственных связей в технологиях деформационного наноструктурирования углеродистых сталей. Приведен общий механизм оценки технологического наследования в процессах деформационного наноструктурирования. Для оценки характера изменения структуры и свойств углеродистой проволоки в ходе разработанного метода непрерывного деформационного наноструктурирования формализована количественная степень технологической наследственности при пооперационной обработке в виде коэффициента технологического наследования. Использование концепции технологического наследования позволяет оценить эффективность применения метода непрерывного деформационного наноструктурирования проволоки в действующих промышленных технологиях.

Ключевые слова: технологическое наследование, многооперационные процессы, наследственные связи, алгоритм учета технологического наследования, метод непрерывного деформационного наноструктурирования.

The classification of hereditary connections in carbon steel deformation nanostructuring technologies is developed on the basis of analysis of multioperation technological processes. General mechanism of technological inheritance estimation in deformation nanostructuring processes is given. For evaluating the change nature in carbonaceous wire structure and properties in the course of the developed method of continuous deformation nanostructuring the quantitative degree of technological heredity is formalized with the per operation working in the form of the coefficient of technological inheritance. The use of technological inheritance concept makes it possible to estimate the application effectiveness of method of continuous deformation nanostructuring wire in the acting industrial technologies.

Keywords: technological inheritance, multioperation processes, hereditary connections, calculation algorithm of technological inheritance, method of continuous deformation nanostructuring.

Современные тенденции развития ведущих отраслей отечественной экономики указывают на то, что в кратко- и среднесрочной перспективах устойчивым спросом будет пользоваться продукция, полученная с применением наукоемких технологий. Новым и приоритетным направлением развития как отечественной, так и зарубежной науки и техники является индустрия наносистем. При этом малоисследованными являются процессы деформационного наноструктурирования длинномерных металлоизделий из углеродистых сталей, в связи с чем они требуют всестороннего изучения, осмысления и глубокого анализа возможностей применения как в научном, так и практическом аспектах.

Как правило, процессы деформационного наноструктурирования сталей относятся к так называемым конечным переделам металлургической отрасли. Они зачастую связаны с продукцией глубокой степени переработки и подразумевают технологическую многостадийность. При этом следует рассматривать значительное многообразие технологических схем и операций, участвующих в создании конечного металлоизделия с использованием процессов деформационного наноструктурирования, что приводит к необходимости учета значительного числа факторов, которые влияют на процесс формирования требуемого комплекса свойств [1]. Оценку влияния режимов как отдельно взятой технологической операции, так и совокупный вклад смежных операций или всей технологической цепочки на достижение конечных свойств

изделия возможно проводить на основе разрабатываемой учеными ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им Г.И. Носова» концепции технологического наследования.

Согласно данной концепции в многооперационных технологических процессах признаки (свойства) готовых металлических изделий формируются на протяжении всего процесса обработки и технологически наследуются от предшествующей операции к последующей. В ходе процессов с использованием деформационного наноструктурирования формирование свойств металлических изделий зависит от разнообразных наследственных связей (НС), во многом определяющих характер технологического наследования (рис. 1). Учет НС является одной из основных составляющих концепции технологического наследования.

По влиянию на конечный комплекс свойств изделий следует различать благоприятные и неблагоприятные НС. Потенциальными причинами зарождения неблагоприятных НС являются неравномерность химического состава, микроструктуры и механических свойств исходной заготовки, неравномерность напряженно-деформированного состояния в процессах формоизменения, неоднородность микроструктуры и механических свойств и др. Это может привести к невозможности достижения требуемых значений свойств обрабатываемой заготовки, значительной величине их разброса, а в предельном случае и невозможности осуществления запланированной последовательности обработки.

По чувствительности к технологическим воздействиям при обработке НС можно классифицировать как устойчивые (слабо реагирующие на изменение параметров управления в широких диапазонах) и неустойчивые. По механизму действия можно выделить простые и комплексные НС. Механизм простой НС характеризуется влиянием на свойство только его предыдущего состояния и технологических параметров управления самой операции, определяющих количественное значение технологического наследования по конкретному свойству. Такой механизм свойственен техническому объекту, когда формирование свойства изделий происходит за один рабочий ход.



Рис.1. Наследственные связи в процессах деформационного наноструктурирования сталей

Механизм комплексной НС выражается во влиянии на свойство не только параметров управления текущей операции, но и технологических режимов обработки, формирующих технологическую историю. Следует отметить, что в многостадийных процессах деформационного наноструктурирования оба выделенных механизма могут действовать одновременно.

Важную роль на начальных этапах деформационного наноструктурирования играют параметры состояния материала (напряженно-деформированное состояние, микроструктура и др.), формирующиеся под воздействием параметров управления (технологических факторов) процесса обработки и определяющие возможность зарождения неблагоприятных НС. Технологические режимы обработки на этих этапах необходимо ориентировать на получение промежуточной заготовки с необходимыми параметрами состояния с учетом специфики выполнения последующих технологических операций.

Вышеизложенное свидетельствует о необходимости учета неблагоприятных НС при разработке новых и совершенствовании действующих процессов деформационного наноструктурирования с использованием процессов обработки различной физической природы.

Для оценки характера изменчивости свойств металлических изделий в ходе технологического про-

цесса деформационного наноструктурирования формализована количественная степень технологической наследственности при пооперационной обработке в виде коэффициента технологического наследования β_{ij} :

$$\beta_{ij} = \frac{k_{ij}}{k_{i(j-1)}} - 1, \quad (1)$$

где k_{ij} , $k_{i(j-1)}$ - значение свойства изделия после j -й и $(j-1)$ -й технологической операции соответственно.

Коэффициент технологического наследования количественно отражает направление изменения и степень передачи свойства от предшествующей операции к последующей, а также чувствительность данного свойства к технологическим воздействиям [2].

Общий механизм оценки технологического наследования в процессах деформационного наноструктурирования представлен на рис. 2.

Первым этапом исследования явления технологического наследования является определение характера и чувствительности структуры и свойств проволоки из углеродистой стали к различным видам технологического воздействия. Количественно это можно оценить через коэффициент технологического наследования. Рассмотрим применение концепции технологического наследования на примере разрабатываемого на кафедре машиностроительных и металлургических технологий МГТУ им. Г.И. Носова метода непрерывного деформационного наноструктурирования проволоки.

Перспективным направлением разработки процессов деформационного наноструктурирования является совмещение технологических операций, либо их комбинирование в непрерывную линию. Такой подход также предусматривает многостадийность технологического процесса. Как известно, для создания технологических процессов с совмещенными операциями необходимо выбрать базовую операцию. Поскольку основной свойствообразующей операцией при производстве проволоки является операция волочения, то эта операция была выбрана в качестве базовой для разработки нового непрерывного метода деформационного наноструктурирования. Сущность разработанного непрерывного метода деформационного наноструктурирования состоит в одновременном наложении на непрерывно движущуюся проволоку деформации растяжения волочением, деформации изгиба при прохождении через систему роликов и деформации кручения (рис. 3). Такая схема деформирования приводит к появлению сдвиговых деформаций, что позволяет получать ультрамелкозернистую структуру в обрабатываемой проволоке [3, 4].

Перспективным направлением разработки процессов деформационного наноструктурирования является совмещение технологических операций, либо их комбинирование в непрерывную линию. Такой подход также предусматривает многостадийность технологического процесса. Как известно, для создания технологических процессов с совмещенными операциями необходимо выбрать базовую операцию. Поскольку основной свойствообразующей операцией при производстве проволоки является операция волочения, то эта операция была выбрана в качестве базовой для разработки нового непрерывного метода деформационного наноструктурирования. Сущность разработанного непрерывного метода деформационного наноструктурирования состоит в одновременном наложении на непрерывно движущуюся проволоку деформации растяжения волочением, деформации изгиба при прохождении через систему роликов и деформации кручения (рис. 3). Такая схема деформирования приводит к появлению сдвиговых деформаций, что позволяет получать ультрамелкозернистую структуру в обрабатываемой проволоке [3, 4].

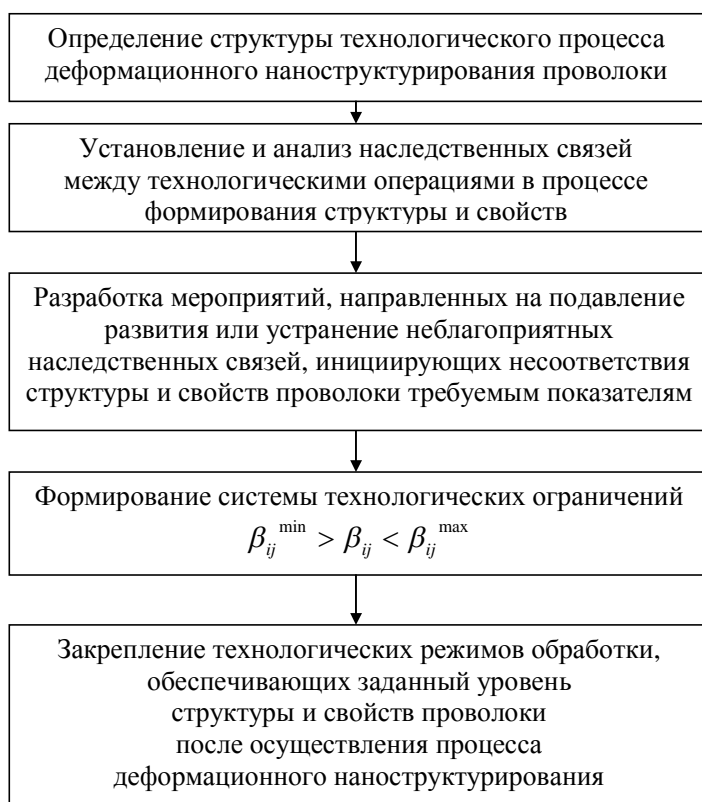


Рис. 2. Алгоритм учета явления технологического наследования при деформационном наноструктурировании проволоки

Преимуществом такой схемы деформирования является возможность использования для ее реализации имеющихся в метизном производстве технических устройств, а значит, ее применимость в действующих технологических процессах производства проволоки. На данный метод получено положительное решение на выдачу патента Российской Федерации.

Однако для оценки эффективности применения данного процесса в действующих промышленных технологиях необходимо провести анализ влияния как каждой отдельной операции, так и совокупности используемых операций волочения, изгиба и кручения на формирование структуры и уровень механических свойств наноструктурированной проволоки с применением концепции «технологического наследования».

Исследование влияния режимов деформационной обработки на формирование структуры и механиче-

ских свойств в ходе разработанного метода непрерывного деформационного наноструктурирования проводили на отожженной проволоке из высокоуглеродистой стали с содержанием 0,75% С диаметром 3,05 мм [5-7]. Микроструктура состояла из ферритокарбидной смеси и структурно-свободного феррита, расположенного по границам неравномерных по размеру перлитных колоний. В ходе реализации метода непрерывного деформационного наноструктурирования суммарная степень деформации в обеих волоках составляла 19,88%, количество оборотов при кручении изменяли до обрыва проволоки после второй по ходу движения проволоки волоки. Это значение оборотов кручением приняли за 100%. После непрерывного метода деформационного наноструктурирования исследовали механические свойства проволоки: временное сопротивление разрыву σ_b как показатель прочности и относительное сужение ψ как показатель пластичности. Для полученных значений механических свойств проволоки были рассчитаны коэффициенты технологического наследования по формуле (1).

Результаты измерения механических свойств высокоуглеродистой проволоки после разработанного процесса деформационного наноструктурирования и значения коэффициентов технологического наследования приведены в табл. 1.

Из полученных данных видно, что при степени деформации кручением до 50% значения $\beta_{ij} < 0$.

Происходит разупрочнение проволоки до 4% и уменьшение значений относительного сужения на 37% от первоначального значения. Изменение коэффициента технологического наследования для значений относительного сужения происходит более интенсивно и в большей степени. Таким образом, целесообразными режимами обработки стальной высокоуглеродистой проволоки является степень деформации кручением от 50 до 100%, где коэффициент технологического наследования имеет положительные значения $\beta_{ij} > 0$. Наиболее эффективным режимом обработки является деформация кручением в 85% от максимального значения.

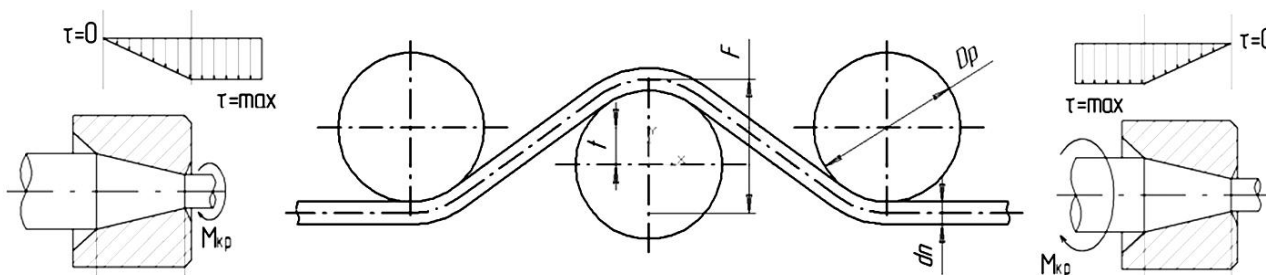


Рис. 3. Принципиальная схема непрерывного метода деформационного наноструктурирования проволоки

Таблица 1

Механические свойства проволоки и значения коэффициентов технологического наследования

Степень деформации, %	Временное сопротивление разрыву σ_b , МПа	Относительное сужение ψ , %	Коэффициент технологического наследования для значений «временное сопротивление разрыву» β_σ	Коэффициент технологического наследования для значений «относительное сужение» β_ψ
0	851,15	8,07		
10	825,20	6,84	-0,030	-0,153
20	820,56	5,06	-0,036	-0,373
30	896,54	9,30	0,053	0,152
40	866,29	6,13	0,018	-0,241
50	866,99	11,72	0,019	0,452
60	879,04	11,38	0,033	0,410
70	942,60	14,45	0,107	0,791
85	954,37	14,79	0,121	0,833
95	879,89	10,69	0,034	0,324

Одним из основных показателей разработанного метода непрерывного деформационного наноструктурирования является измельчение микроструктурных составляющих. В качестве изучаемых параметров микроструктуры были выбраны межпластинное расстояние h_s , толщина цементитных пластин h_c , толщина ферритных пластин h_f и величина перлитных колоний. Для оценки эффективности метода непрерывного деформационного наноструктурирования проволоки были рассчитаны коэффициенты технологического наследования для выбранных микроструктурных составляющих при различных режимах деформации кручением на различных участках поперечного сечения обработанной проволоки (табл. 2 и 3).

С увеличением степени деформации кручением значения коэффициента технологического наследования β для всех микроструктурных параметров понижается монотонно и прямолинейно. С точки зрения получения более дисперсной структуры целесообразно использовать режимы с максимальными значениями степени деформации кручением.

С другой стороны, величина коэффициента технологического наследования зависит от суммарной деформации (суммарной степени обжатия при волочении и степени деформации кручением). Чем меньше величина суммарного обжатия при волочении, тем большее влияние оказывает деформация кручением на уменьшение величины перлитных колоний. Таким образом, при минимальном суммарном обжатии 12,7% значения коэффициента β при степени деформации 80% в два раза больше, чем при степени деформации кручением 30%. При больших значениях суммарного обжатия при воло-

чении влияние деформации кручением на величину параметров микроструктуры проволоки снижается и при максимальном значении суммарной степени обжатия при волочении деформация кручением не оказывает влияния на изменение параметров микроструктуры.

Таблица 2

Значения коэффициентов технологического наследования для параметров микроструктуры высокоуглеродистой проволоки

Степень деформации, %	Значения коэффициента технологического наследования					
	Центральная область проволоки			Поверхность проволоки		
	для толщины цементитных пластин β_c	для толщины ферритных пластин β_f	для межпластинного расстояния β_s	для толщины цементитных пластин β_c	для толщины ферритных пластин β_f	для межпластинного расстояния β_s
10	-0,028	-0,019	-0,094	0,250	0,380	0,199
50	-0,062	-0,023	-0,114	0,205	0,328	0,163
60	-0,094	-0,049	-0,121	0,129	0,255	0,143
70	-0,126	-0,059	-0,139	0,122	0,194	0,108
95	-0,137	-0,070	-0,156	0,127	0,231	0,085

Как видно из полученных данных, значения критерия технологического наследования для исследованных механических свойств проволоки после метода непрерывного деформационного наноструктурирования носят немонотонный характер. Это объясняется тем, что при небольших степенях деформации кручением происходит разупрочнение и снижение пластических свойств обрабатываемой проволоки. При увеличении степени деформации кручением от 20 до 85% от максимального значения происходит увеличение как прочностных, так и пластических свойств обрабатываемой проволоки. При степени деформации кручением 95% уровень механических свойств снова снижается и, соответственно, уменьшаются значения коэффициента технологического наследования. Уменьшение значений критерия технологического наследования микроструктурных параметров как для поверхности, так и для центральной области проволоки, соответствующее уменьшению величины микроструктурных параметров, происходит линейно и монотонно во всем диапазоне принятых степеней деформации кручением. Из полученных данных следует, что наиболее эффективным режимом деформационного наноструктурирования проволоки разработанным методом с целью получения повышенных механических свойств и дисперсности микроструктурных составляющих является деформация кручением в диапазоне 75–80% от максимального значения при суммарном обжатии в волоках 20%.

Таблица 3

Величина коэффициентов технологического наследования для значений величины перлитных колоний при различных режимах обработки проволоки

Степень деформации кручением, %	Степень деформации при волочении проволоки, %		Конечный диаметр проволоки d, мм	Величина перлитных колоний, мкм		Коэффициент технологического наследования для значений величины перлитных колоний	
	в первой по ходу движения проволоки ε_1	во второй по ходу движения проволоки ε_2		в центре	на поверхности	в центральной области проволоки $\beta_{центр}$	на поверхности проволоки $\beta_{поверхность}$
30	0	12,7	2,85	17,227	49,112	-0,605	-0,240
80	0	12,7	2,85	17,302	33,409	-0,603	-0,483
30	0	18,7	2,75	11,907	23,061	-0,727	-0,643
80	0	18,7	2,75	10,887	13,784	-0,750	-0,787
30	18,7	12	2,58	13,003	16,401	-0,702	-0,746
80	18,7	12	2,58	11,942	11,103	-0,726	-0,828
30	18,7	20,6	2,45	8,115	10,647	-0,814	-0,835
80	18,7	20,6	2,45	7,268	13,116	-0,833	-0,797

Таким образом, исследуемый процесс непрерывного деформационного наноструктурирования проволоки позволяет повышать комплекс ее механических свойств. Показатели эффективности процесса (упрочнение, увеличение значения относительного сужения, уменьшение параметров микроструктуры) чувствительны к единичным обжатам в волокнах и степени деформации кручением в различной степени в зависимости от соотношения величин деформации. Обработка проволоки должна осуществляться таким образом, чтобы использование одного вида деформации не только не исключало целесообразность использования другого вида деформации, а, наоборот, способствовало взаимному усилению влияния на выбранные показатели эффективности процесса.

Работа проведена в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, выполняемого с участием российского высшего учебного заведения (договор 13.G25.31.0061), программы стратегического развития университета на 2012–2016 гг. (конкурсная поддержка Минобрнауки РФ программ стратегического развития ГОУ ВПО), а также гранта в форме субсидии на поддержку научных исследований (соглашение №14.B37.21.0068).

Список литературы

1. Целевые функции взаимосвязи механических свойств и структурных параметров конструкционных наноструктурированных сталей / Корчунов А.Г., Пивоварова К.Г., Лысенин А.В., Гулин А.Е. // Обработка сплошных и слоистых материалов: сб. науч. тр. / под ред. М.В. Чукина. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. Вып. 37. С. 88-95.
2. Корчунов А.Г. Моделирование трансформации показателей качества металлических изделий в процессах обработки // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2009. № 1. С. 76-78.

3. Полякова М.А., Голубчик Э.М., Гулин А.Е. Разработка непрерывного метода деформационного наноструктурирования проволоки // Обработка сплошных и слоистых материалов: сб. науч. тр./ под ред. М. В. Чукина. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. Вып. 37. С. 39-45.
4. Гулин А.Е. Проектирование метода деформационного наноструктурирования проволоки. VIII Российская ежегодная конференция молодых научных сотрудников и аспирантов «Физико-химия и технология неорганических материалов», Москва, 15-18 ноября 2011 г. Москва: ИМЕТ РАН, 2011. С. 651-653.
5. Полякова М.А., Голубчик Э.М., Гулин А.Е. Влияние схемы деформирования на формирование ультрамелкозернистой структуры углеродистых сталей. IV международная конференция «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов», Москва, 25-28 октября 2011 г. Москва: ИМЕТ РАН, 2011. С. 201-203.
6. Гулин А.Е., Никитенко О.А., Полякова М.А. Влияние знакопеременной деформации на микроструктуру и механические свойства проволоки // Актуальные проблемы физического металловедения сталей и сплавов: материалы XXI Уральской школы металлургов-термистов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. С. 242-243.
7. Влияние знакопеременной деформации на формирование ультрамелкозернистой структуры и механические свойства высокоуглеродистой проволоки / Полякова М.А., Гулин А.Е., Ефимова Ю.Ю., Никитенко О.А. // Нанотехнологии функциональных материалов (НФМ'12): труды междунар. науч.-техн. конф. Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. С. 278-282.

Bibliography

1. Korchnunov A.G., Pivovarova K.G., Lysenin A.V., Guln A.E. Objective functions of relationship between mechanical properties and structural parameters of construction nanostructured steels / Collection of scientific papers «Processing of solid and laminar materials». Under the editorship of M.V. Chukin. Magnitogorsk: Publishing house of Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov, 2011. Issue 37. P. 88-95.
2. Korchnunov A.G. Transformation simulation of metalware quality indices in the working processes / Vestnik of MSTU named after G.I. Nosov. 2009. №1. P. 76-78.
3. Polyakova M.A., Golubchik E.M., Guln A.E. Development of continuous method of wire nano-structuring deformation / Collection of scientific papers «Processing of solid and laminar materials». Under the editorship of M.V. Chukin. Magnitogorsk: Publishing house of Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov, 2011. Issue 37. Pp. 39-45.
4. Guln A.E. Development of the method of deformation wire nanostructuring. VIII Russian annual conference of young research scientists and postgraduate students «Physics, chemistry and technology of inorganic materials». Moscow. November 15-18, 2011. / Collection of papers. M: IMET Russian Academy of Sciences. 2011. P. 651-653.
5. Polyakova M.A., Golubchik E.M., Guln A.E. Influence of the deformation diagram on the formation the carbon steels ultrafine-grain structure / IV international conference «Deformation and destruction of materials and nanomaterials». Moscow. 25-28 October, 2011 / Collection of papers. M: IMET Russian Academy of Sciences. 2011. P. 201-203.
6. Guln A.E., Nikitenko O.A., Polyakova M.A. Influence of alternating strain on the wire microstructure and mechanical properties / The vital problems of steels and alloys physical metallurgical science: Collection of papers XXI Ural school of metallographer-heat specialists. Magnitogorsk: Publishing house of Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov. 2012. P. 242-243.
7. Polyakova M.A., Guln A.E., Efimova Yu.Yu. Influence of alternating strain on formation of highly carbonaceous wire ultrafine-grain structure and mechanical properties / Nano-technologies of functional materials (NFM'2012). Collection of papers of the international scientific and technology conference. SPb: Publishing house of Polytechnic university. 2012. P. 278-282.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 621.771

Рубин Г.Ш., Шишов А.А., Чукин М.В., Гун Г.С.

КЛЕТОЧНО-АВТОМАТНЫЕ МОДЕЛИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОМД*

Клеточно-автоматные модели обеспечивают создание дискретной модели сплошной среды. Это исключает процесс аппроксимации континуальной модели и повышает точность моделирования. Прямое моделирование взаимодействия повышает скорость расчётов. Используя предложенную в статье зависимость, можно исследовать процессы неравномерности распространения деформации в среде.

Ключевые слова: клеточно-автоматная модель, дискретные модели, деформация.

The cellular automaton models contribute generation discrete models of continuum. Elimination of continuum model yields a large dividend in accuracy. The direct interaction model accelerates calculation. The functional connection, suggested in this work, allows the research of the deformation irregularity.

Keywords: cellular automaton models, discrete models, the deformation.

На данный момент наиболее популярные программные пакеты расчета напряженно-деформированного состояния металла в процессах ОМД основываются на сложной системе расчетов. Реальный физический процесс описан математически механикой сплошных сред. Математическая модель предполагает некоторые упрощения и, как следствие, погрешность результатов вычислений. К тому же модель состоит из системы двадцати девяти дифференциальных уравнений, решение которой аналитическими методами весьма затруднительно. Решение системы уравнений возложено на метод конечных элементов, который, в свою очередь, тоже накладывает свои ограничения и увеличивает погрешность результатов. Причем метод конечных элементов реализуется посредством последовательности итераций, и на каждой итерации происходит решение системы линейных уравнений большого порядка. Как результат, вычисление напряженно-деформированного состояния – достаточно долгий процесс, а расчет погрешности полученных результатов является еще одной сложной математической задачей.

Р. Курант, К. Фридрихс и Х. Леви в 1928 г. в своей работе [1] рассмотрели возможности численного решения дифференциальных уравнений, используя конечно-разностные методы. Дискретизируя дифференциальные уравнения, доказывая сходимость дискретной системы к дифференциальной и, наконец, устанавливая существование решения дискретной системы алгебраическими методами, они доказывали теоремы существования и единственности решений для эллиптических, гиперболических и параболических дифференциальных уравнений. Их работа привлекла большое внимание и легла в основу современной модели расчета динамики газа и жидкости. Но их подход является одним из видов клеточных автоматов. В общем смысле клеточный автомат – дискретная

динамическая система, эволюция которой определяется локальными взаимодействиями составляющих ее элементов. Пространство клеточного автомата разделено на ячейки (или клетки), характеризующиеся конечным числом параметров состояния. Переход ячеек от одного состояния к другому обусловлен конечной таблицей простых законов локальных взаимодействий. Последовательность тактов изменения параметров состояния ячеек имитирует временную шкалу клеточного автомата. Необходимо также отметить достоинство клеточных автоматов в общей парадигме параллельных вычислений [2].

Первая созданная нами клеточно-автоматная модель представляла собой систему подвижных элементов клеточного автомата [3]. Среда представляла собой конечное количество элементарных элементов, взаимодействующих друг с другом по некоторому закону. В список параметров, характеризующих каждый элемент, входили координаты центра масс, масса и компоненты скорости. Варьируя закон взаимодействия элементов, можно было изменять свойства среды. Но эта система имела ряд недостатков, в частности потребность в гигантской вычислительной мощности ПК, поскольку приходилось рассчитывать взаимодействия каждого элемента с каждым, а количество тактов было слишком велико.

Вторая клеточно-автоматная модель представлена в виде двухмерной площадки размером $L \times W$, разделенной на равные квадратные ячейки со стороной $l = 1$. Она представляет собой двухмерную матрицу с L строками и W столбцами.

Время T представлено конечной последовательностью тактов одинаковой продолжительности $t = 1$ такт. Каждая ячейка характеризуется тремя параметрами: s – состояние ячейки, v и a – соответственно первая и вторая частные производные состояния ячейки.

Матрица вторых частных производных размером $L \times W \times T$ задается до запуска клеточного автомата (перед первым тактом) и определяет внешнее силовое

* Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение №14.В37.21.0068.

воздействие на эволюцию клеточного автомата на протяжении всего времени T . С помощью этой матрицы возможно задавать источники возмущений в любых ячейках, как во внешних, так и во внутренних, на любом такте. Матрица первых частных производных имеет размер $L \times W$. Матрица состояний ячеек перед первым тактом определяет начальное состояние среды.

Первые частные производные v_n ($n = 1, 2, 3, 4$) в ячейке с координатами (i, j) на τ -м такте находятся по следующим формулам:

$$\begin{cases} V_{if_1}^\tau = V_{if_1}^{\tau-1} + k_1 (s_{i-1j}^{\tau-1} - s_{i-1}^{\tau-1}) + a_{ij1вн}^\tau, \\ V_{if_2}^\tau = V_{if_2}^{\tau-1} + k_2 (s_{i-1j}^{\tau-1} - s_{i-1}^{\tau-1}) + a_{ij2вн}^\tau, \\ V_{if_3}^\tau = V_{if_3}^{\tau-1} + k_3 (s_{i-1j}^{\tau-1} - s_{i-1}^{\tau-1}) + a_{ij3вн}^\tau, \\ V_{if_4}^\tau = V_{if_4}^{\tau-1} + k_4 (s_{i-1j}^{\tau-1} - s_{i-1}^{\tau-1}) + a_{ij4вн}^\tau. \end{cases} \quad (1)$$

Для граничных ячеек ($i = 1, i = L, j = 1, j = W$) это выражение изменяется путем исключения слагаемых, соответствующих отсутствующим соседним ячейкам.

Состояние ячейки с координатами (i, j) на τ -м такте находится по следующей формуле:

$$s_{ij}^\tau = s_{ij}^{\tau-1} + v_{ij1}^\tau + v_{ij2}^\tau + v_{ij3}^\tau + v_{ij4}^\tau. \quad (2)$$

Основываясь на результатах численных экспериментов, можно сделать вывод, что коэффициенты k_i ($i = 1, 2, 3, 4$) определяют свойства среды, а именно скорость распространения возмущений в разных направлениях (рис. 1). При равенстве коэффициентов k_1, k_2, k_3 и k_4 среда является изотропной, фронт возмущений – окружностью (рис. 2), а скорость распространения фронта возмущений одинакова во всех направлениях.

В случае, когда $k_1 = k_2$ и $k_3 = k_4$, среда является анизотропной, фронт возмущений имеет форму эл-

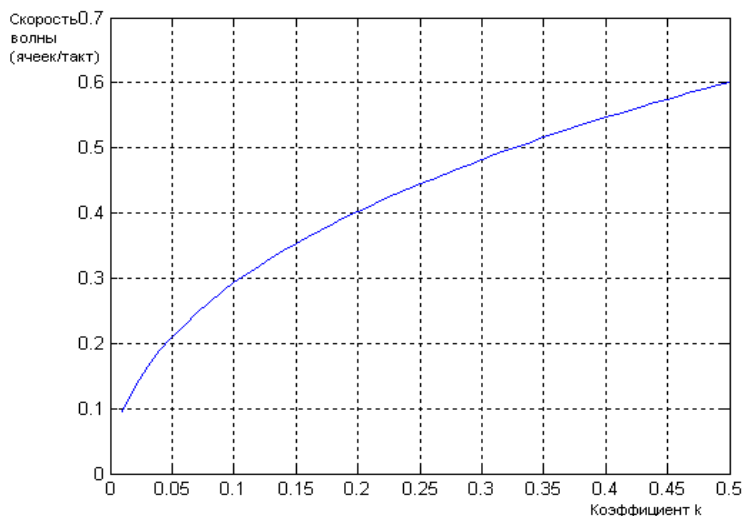


Рис. 1. Зависимость скорости распространения возмущений от коэффициента k_i

липса, а скорость распространения возмущений в разных направлениях различна. Каждый коэффициент однозначно определяет скорость распространения фронта возмущения в своем направлении, следовательно, эти скорости в противоположных направлениях равны по абсолютному значению и противоположны по знаку. Форму фронта волны можно определить следующим образом. Так как форма фронта является эллипсом с осями, параллельными координатным осям ячеек, а значение скорости перемещения фронта можно определить, исходя из рис. 1, то, зная коэффициенты и количество пройденных тактов, легко найти расстояния, пройденные фронтом в направлении координатных осей, которые являются полуосями искомого эллипса. Большой из осей является та, которой соответствует больший коэффициент.

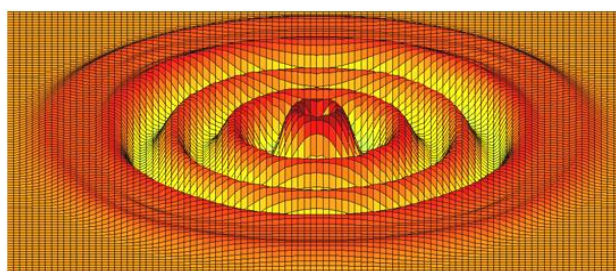


Рис. 2. Распространение возмущения в изотропной среде

При $k_1 = k_2$ и $k_3 = k_4$ сумма состояний всех ячеек остается постоянной на любом такте.

При $k_1 \neq k_2$ и $k_3 \neq k_4$ сохранение постоянства суммарного возмущения для ограниченного двумерного пространства нарушается.

Был проведен ряд вычислительных экспериментов при различных начальных значениях s_{ij} . В ходе экспериментов было установлено, что характер распространения фронта волны не зависит от начального значения состояния ячеек. Скорость распространения фронта возмущений остается постоянной на протяжении всего эксперимента (рис. 3).

Следует обратить внимание на то, что при единичном воздействии (на протяжении одного такта) за первым фронтом возмущений образуются вторичные фронты возмущений меньшей амплитуды. Но в реальных процессах ОМД воздействие инструмента на заготовку длится некоторое время, следовательно, для большей адекватности модели следует выбирать длину такта таким образом, чтобы воздействие инструмента занимало несколько тактов.

Рассмотренная модель отображает распространение абстрактных возмущений в пределах ограниченной области от заданных источников. Это представляется наиболее общим подходом к моделированию физических взаимодействий в среде.

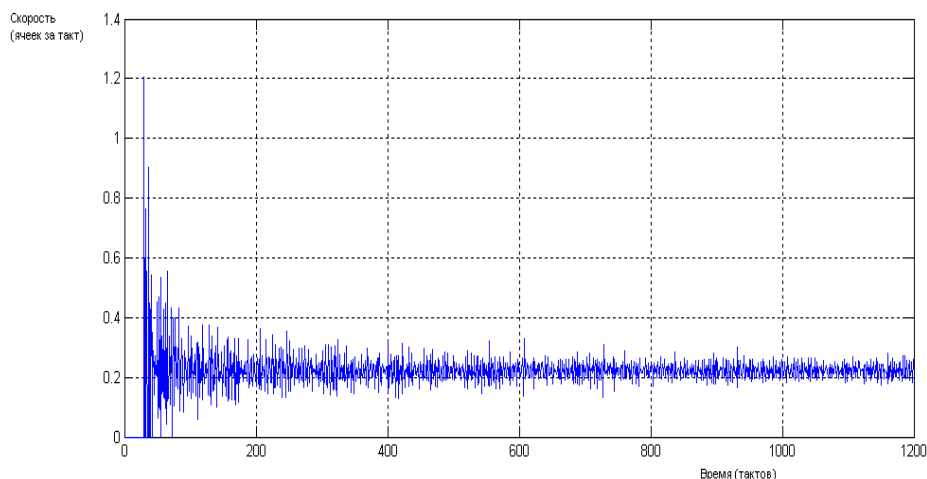


Рис. 3. Изменение скорости распространения фронта возмущения

Обобщающий подход открывает широкие перспективы для моделирования процессов ОМД. В этом случае возмущением может быть изменение положения материальной точки, скорость материальной точки, сила, напряжения, деформации. Распространение любого из этих параметров может быть смоделировано описанной в настоящей статье схемой. Богатство модели обеспечивается выбором коэффициентов k_1, k_2, k_3, k_4 формуле (1). Их варьирование позволит моделировать анизотропную среду, среду с локальными особенностями и пр.

С точки зрения скорости вычислений, клеточно-автоматная модель на порядок быстрее классических

вычислительных методов, поскольку последние основываются на итерационных методах решения системы линейных уравнений большого порядка.

Таким образом, клеточно-автоматная модель открывает широкие перспективы для разработки эффективных программ расчета напряженно-деформированного состояния заготовки в процессе обработки давлением.

Список литературы

1. Courant R., Friedrichs K., Lewy H. Über die partiellen Differenzgleichungen der mathematischen Physik // *Mathematische Annalen*. 1928. Т. 100. №1. S. 32-74.
2. Тоффоли Т., Марголюс Н. Машины клеточных автоматов: пер. с англ. М.: Мир, 1991. 280 с.
3. Рубин Г.Ш., Шишов А.А. Клеточно-автоматные модели деформируемой среды // *Труды восьмого конгресса прокатчиков*. Магнитогорск, 2010. С. 451-453.

Bibliography

1. Courant R., Friedrichs K., Lewy H. Über die partiellen Differenzgleichungen der mathematischen Physik // *Mathematische Annalen*. 1928. Т. 100. №1. S. 32-74.
2. Toffoli T., Margolus N. The cellular automaton mashints: translation from English. M.: Mir, 1991. 280 p.
3. Rubin G.Sh., Shishov A.A., Gun G.S., Chukin M.V. The cellular automaton models of deformed area // *Proceedings of the 8-th congress of millmen*. Magnitogorsk, 2010. P. 451-453.

УДК 519.24:004.81

Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Обухова Т.Г., Галдин М.С., Ахметов Т.У.

АДАПТИВНЫЕ СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ, СИНТЕЗИРОВАННЫЕ НА ОСНОВЕ ИНС

Рассмотрен пример использования искусственной нейронной сети для определения теоретической линии регрессии на основе экспериментальных данных. Описан алгоритм обратного распространения ошибки. Приведен сравнительный анализ полученных результатов.

Ключевые слова: нейронная сеть, регрессионное уравнение, адаптивные модели, весовые коэффициенты, алгоритм обратного распространения ошибки.

An example of the use of artificial neural network for the determination of the theoretical regression line, based on experimental data. The procedure of the back propagation algorithm are reviewed. A comparative analysis of the obtained results.

Keywords: neural network, regression equation, the adaptive models, weight coefficients, the backpropagation algorithm.

В связи с интенсивным ростом вычислительных способностей персональных компьютеров (ПК) появилась реальная возможность программного моделирования мыслительного процесса человека при синтезе моделей исследуемых процессов.

Эффективным инструментом при решении таких задач являются искусственные нейронные сети (ИНС), содержащие несколько слоев взаимосвязанных нейронов, являющихся структурной единицей этих сетей*.

*Хайкин С. Нейронные сети: полный курс: пер. с англ. 2-е изд. М.: Вильямс, 2006. 1104 с.

ИНС, используемые для адекватного отражения реальных свойств исследуемых процессов, в своей основе являются адаптивными экспериментально-статистическими моделями, в которых объект исследования (управления) представляется «черным ящиком», т.е. процессом, о котором известны только входные и выходные параметры при полном отсутствии информации о внутренних взаимосвязях между ними.

Среди многих интеллектуальных свойств ИНС наиболее удивительным и выдающимся является уникальная способность сети к обучению. Это в какой-то степени соответствует процессу интеллектуального

развития человеческой личности, но возможности обучения ИНС ограничены и далеки от окончательного решения.

ИНС обучается, чтобы для некоторого множества (обучающей выборки) входов давать с заданной точностью значения множества выходов, соответствующих реальным экспериментальным значениям.

Современные ИНС – это комплекс эффективных программ для ПК, которые приближенно моделируют способ работы человеческого мозга. Этот комплекс программ подобен мыслительному процессу в двух аспектах:

– знания, приобретенные ИНС, являются результатом анализа и обучения по экспериментальным данным и сведениям из внешнего мира о моделируемом процессе;

– для обучения ИНС используются межнейронные связи, которые реально выражаются в определении синаптических весов. Синаптический вес представляет собой значение масштабного коэффициента при передаче информации от одного нейрона к другому.

Суть передачи синаптических весов – логическое усиление воздействия на нейрон в направлении приближения к правильному решению и подавление (уменьшение) значения синаптического веса при увеличении отклонения полученного значения, формулируемого сетью, от реального экспериментального значения.

Обучение нейронной сети, как необходимого элемента ее создания, заключается в изменении синаптических весов, характеризующих связь между нейронами таким образом, чтобы формируемые нейронной сетью выходные значения параметра, полученные расчетным путем, были эквивалентны экспериментальным значениям. То есть нейронная сеть выдавала бы такие же результаты, которые получены при определении текущих экспериментальных данных.

Нейронная сеть реализует свою уникальную вычислительную функцию благодаря двум свойствам: использование параллельной структуры и способность обучаться и обобщать полученные результаты.

Под способностью обобщать понимается способность ИНС выдавать точные значения выходов при значениях входов (внутри интервала обучающей выборки), которые не использованы при обучении.

Недостатком ИНС при синтезе модели изучаемого процесса или объекта управления является отсутствие формализованного, выраженного в виде функциональной зависимости, представления статистической связи между входными и выходными параметрами процесса.

ИНС представляет программно определенный набор синаптических масштабных коэффициентов, определяющих информационную связь между нейронами сети принятой архитектуры. Поэтому представляет интерес использование ИНС для определения коэффициентов аппроксимирующих зависимостей регрессионных уравнений, отражающих вероятностную (статистическую) связь между входными и выходными параметрами процесса.

Рассмотрим конкретный пример использования нейросетевого метода для определения уравнения теоретической линии регрессии линейной зависимости вида $\bar{y}(x) = a_0 + a_1x$ между двумя параметрами. Здесь x – аргумент, т.е. входной независимый фактор, y – выходная контролируемая переменная, характеризующая состояние процесса.

Экспериментальные данные для определения общего уравнения линейной зависимости вида $\bar{y}(x) = a_0 + a_1x$ представлены в таблице.

Экспериментальные данные

Номер опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x_i	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
y_i	20	10	20	40	45	35	70	50	80	75

Решение поставленной задачи осуществляется последовательным выполнением следующих операций.

Первый этап – это проектирование ИНС. Общих принципов проектирования ИНС, определяющих архитектуру сети, пока не существует. Размер ИНС определяется сложностью решаемой задачи и необходимостью учета всех значимых факторов и выходных параметров исследуемого процесса.

Если использовать недостаточно слоев и число нейронов в каждом скрытом слое, то ИНС будет обеспечивать недостаточную точность представления выходных параметров. При избыточности скрытых слоев и количестве нейронов в каждом слое ИНС может вообще утратить способность к обобщению.

Учитывая относительно простую задачу, для определения линейного вида предполагаемой линии регрессии используем ИНС, архитектура которой изображена на рис. 1.

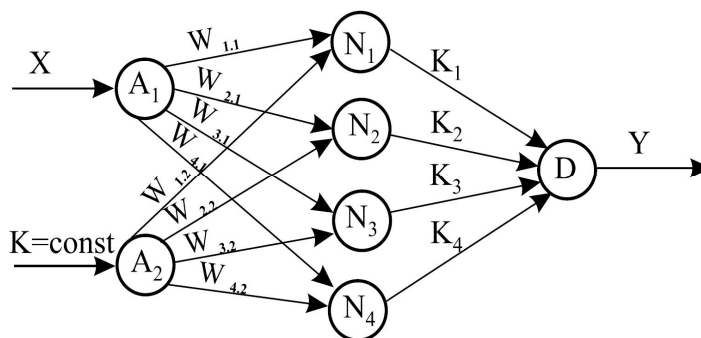


Рис. 1. Архитектура ИНС 2-4-1 для определения регрессионного уравнения вида $\bar{y}(x) = a_0 + a_1x$

Выходной слой представлен одним нейроном D. Скрытый слой содержит четыре нейрона N_1, N_2, N_3, N_4 ; W_{in} – весовые коэффициенты скрытого слоя при $i = 1 \dots 4, n = 1, 2$; $K_1 \dots K_4$ – весовые коэффициенты выходного слоя.

Входной слой содержит два нейрона: на первый подается входной информационный сигнал X, а на второй нейрон должна быть подана константа $K = const$. Примем $K = 1$.

В качестве активационной функции, предотвращающей насыщение сумматоров скрытого слоя, используем функцию $Z = f_1(U) = 0,05U$, где Z – выход нейрона; U – сумма произведений весовых коэффициентов (если их несколько) на входной сигнал нейрона

в соответствии с выражением $U_i = \sum_{j=1}^n W_{in} \cdot X$. Для

нейрона выходного слоя в качестве активационной функции примем функцию вида $Y = f_2(S) = 5S$, где

$$S = \sum_{i=1}^n K_i \cdot Z_i.$$

Для рассматриваемого случая ИНС имеем $S = K_1 \cdot Z_1 + K_2 \cdot Z_2 + K_3 \cdot Z_3 + K_4 \cdot Z_4$. Чтобы определить синаптические коэффициенты $W_{1n} \dots W_{4n}$ и $K_{1n} \dots K_{4n}$, необходимо осуществить подготовку данных.

Второй этап – подготовка исходных данных ИНС. Перед выполнением операции обучения ИНС необходимо подготовить данные, по которым ИНС будет обучаться, т.е. обучающую выборку. К обучающей выборке экспериментальных данных предъявляются следующие требования:

- исходные данные должны быть, по возможности, равномерно распределены во всем интервале значений аргумента X ;

- исходные данные в числовом выражении должны быть одного порядка.

Исходные данные должны соответствовать всем принятым нормам при определении экспериментально-статистических зависимостей. Рекомендуется исходные данные путем масштабирования приводить к диапазону $[0 \dots 1]$. В рассматриваемом случае масштабирование исходных данных целесообразно провести путем умножения их на масштабирующий коэффициент 0,01, т.е. $K_m = 0,01$ для входных и выходных параметров.

Коэффициенты масштабирования для входных и выходных параметров могут быть различными.

Третий этап – обучение созданной ИНС. Перед выполнением операции обучения ИНС необходимо (в начальный момент) задать исходными величинами синаптических весовых коэффициентов. Обычно начальные значения коэффициентов ИНС выбирают случайным образом в диапазоне $[0,1 \dots 1,0]$.

Наиболее эффективным алгоритмом обучения ИНС является алгоритм обратного распространения ошибки. Обучение ИНС по этому алгоритму предусматривает обязательное последовательное выполнение следующих процедур.

- 1) Случайным образом выбирается обучающая пара из экспериментальных значений и значение аргумента из этой пары подается на вход сети.

- 2) Рассчитывается выходное значение нейросети.

- 3) Вычисляется разность сигналов (значений) параметров между выходным сигналом сети Y^* и экспериментальным значением параметра Y в обучающей паре:

$$\varepsilon = Y^* - Y.$$

- 4) Вычисляется функция δ . В рассматриваемом случае

$$\delta = \varepsilon(1 - Y^*)(1 + Y^*).$$

- 5) Определяется величина коррекции коэффициентов от нейронов скрытого слоя к нейронам выходного слоя (в рассматриваемом случае)

$$\Delta K_p = \eta \delta Z_p (1 - Z_p) (1 + Z_p) K_{pn},$$

где η – скорость обучения; Z_p – значение активационной функции. Скорость обучения η принимается в диапазоне от 0,01 до 0,1.

- 6) Корректируем коэффициенты выходного слоя в соответствии с выражением

$$K_{pc} = K_{pn} - \Delta K_p,$$

где K_{pc} , K_{pn} – соответственно скорректированное и исходное (начальное) значение данного коэффициента.

Расчет коррекции и коррекция осуществляются по всем коэффициентам от нейронов скрытого слоя к нейронам выходного слоя.

Определяем величину коррекции коэффициентов (синаптических весов) от нейрона входного слоя к нейронам скрытого слоя:

$$\Delta W_p = \eta \delta X W_{pn}.$$

Корректируем все коэффициенты нейронов скрытого слоя в соответствии с выражением

$$W_{pc} = W_{pn} - \Delta W_p,$$

где W_{pc} , W_{pn} – соответственно скорректированное и исходное значение скрытого слоя.

Переходим к выполнению п. 1, но с новыми скорректированными значениями всех коэффициентов, использованных в ИНС.

Цикл обучения будет повторяться до тех пор, пока величина изменения каждого весового коэффициента в каждом шаге обучения не будет меньше некоторого заданного порогового значения. Изменение значений синаптических весовых коэффициентов в процессе обучения нейросетевой модели от количества шагов итераций обучения при определении зависимости $\bar{y}(x) = a_0 + a_1 x$ при шаге обучения $\eta = 0,005$ представлено на **рис. 2**.

При увеличении шага обучения скорость обучения ИНС растет, но одновременно увеличивается и величина случайных изменений значений весовых коэффициентов. Так, при шаге обучения $\eta = 0,1$ процесс обучения ИНС практически заканчивается на 3500 шаге, а при шаге обучения $\eta = 0,005$ процесс обучения той же ИНС по тем же экспериментальным данным (см. **рис. 2**) завершается на 30000 шаге. При этом случайные колебания величин весовых коэффициентов практически полностью отсутствуют.

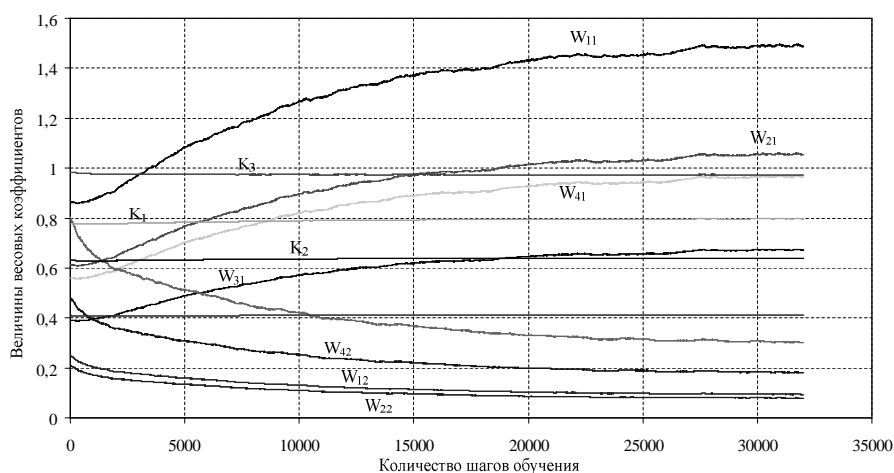


Рис. 2. Изменение значений весовых коэффициентов нейросетевой модели от количества шагов в процессе обучения для определения зависимости вида

$$\bar{y}(x) = a_0 + a_1x \text{ при шаге обучения } 0,005$$

В процессе обучения по алгоритму обратного распространения ошибки ИНС настраиваются на конечные значения всех синаптических коэффициентов. И это характеризует окончание процесса обучения. Определение коэффициентов уравнения $\bar{y}(x)$ осуществляется в соответствии с последовательностью выполняемых действий

$$Y = f_D \cdot (N_1 + N_2 + N_3 + N_4),$$

где

$$N_1 = K_1 \cdot f_N \cdot (W_{11} \cdot f_A \cdot X + W_{12} \cdot f_A \cdot K),$$

$$N_2 = K_2 \cdot f_N \cdot (W_{21} \cdot f_A \cdot X + W_{22} \cdot f_A \cdot K),$$

$$N_3 = K_3 \cdot f_N \cdot (W_{31} \cdot f_A \cdot X + W_{32} \cdot f_A \cdot K),$$

$$N_4 = K_4 \cdot f_N \cdot (W_{41} \cdot f_A \cdot X + W_{42} \cdot f_A \cdot K)$$

при значении функций активации $f_D = 5S$, $f_N = 0,05U$, $f_A = X$.

В результате обучения нейросети были получены следующие значения весовых коэффициентов:

$$W_{11} = 1,48; W_{21} = 1,05; W_{31} = 0,68; W_{41} = 0,97;$$

$$W_{12} = 0,1; W_{22} = 0,09; W_{32} = 0,33; W_{42} = 0,18;$$

$$K_1 = 0,8; K_2 = 0,65; K_3 = 0,97; K_4 = 0,41.$$

После подстановки синаптических весовых коэффициентов получим:

$$Y = 5 \cdot 0,05 \cdot [0,8 \cdot (1,48 \cdot 1 \cdot X + 0,1 \cdot 1 \cdot K) + 0,65 \cdot (1,05 \cdot 1 \cdot X + 0,09 \cdot 1 \cdot K) + 0,97 \cdot (0,68 \cdot 1 \cdot X + 0,33 \cdot 1 \cdot K) + 0,41 \cdot (0,97 \cdot 1 \cdot X + 0,18 \cdot 1 \cdot K)],$$

при $K=1$

$$Y = 0,731X + 0,1331.$$

Графические изображения траектории теоретической линии регрессии $\bar{Y}(X) = 0,731X + 0,1331$ и теоретической линии регрессии $\bar{Y}(X) = 0,8018X + 0,0973$, полученной с использованием метода наименьших квадратов, представлены на рис. 3.

Анализ полученных результатов показывает, что нейросетевой метод по точности практически совпадает с методом наименьших квадратов, принятым за эталонный.

Преимущество нейросетевого метода заключается в том, что предложенный метод реализуется непосредственно при экспериментальном определении входных и выходных параметров процесса и обеспечивает непрерывную адаптацию математической модели при изменении технологических или производственных условий. Поэтому при изменении условий функционирования исследуемого процесса не потребуется проводить дополнительные эксперименты. А также нейросетевой метод позволяет достаточно просто учитывать влияние различного количества входных и выходных параметров в процессе эксперимента на реальном объекте.

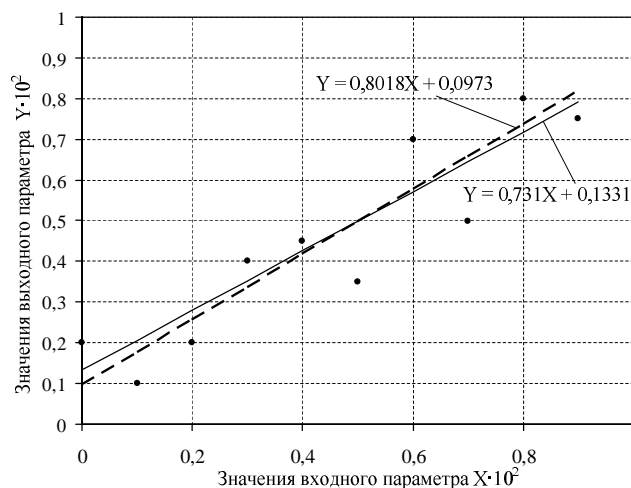


Рис. 3. Траектории линейной регрессионной зависимости, полученной нейросетевым методом при шаге обучения 0,005 (сплошная линия) и методом наименьших квадратов (пунктирная линия) по экспериментальным данным (точки на графике)

Барышников М.П., Чукин М.В., Бойко А.Б.

АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОЦЕССАХ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

Изложены результаты исследования программных комплексов для расчета механических свойств материалов, выявлены основные особенности моделирования условий напряженно-деформированного состояния для программных комплексов.

Ключевые слова: программные комплексы, моделирование, механические свойства, композиционные материалы, ANSYS, CompositePro, ABAQUS, Nastran, DEFORM-3D.

The results of research software systems to calculate the mechanical properties of materials, determined the basic laws of behavior patterns in different conditions of stress-strain state.

Keywords: software systems, modeling, mechanical properties, composite materials, ANSYS, CompositePro, ABAQUS, Nastran, DEFORM-3D.

Создание конструкций из композиционных материалов является сложной инженерной задачей. Поскольку структура и характеристики композиционных материалов достаточно сложны, создание адекватной расчетной модели является актуальной задачей. Композиционные материалы обладают трансверсально-изотропными, ортотропными, анизотропными характеристиками, в связи с чем их часто применяют при решении специфичных конструкторских задач [1]. Эффективность применения современных средств компьютерного моделирования на стадиях разработки, проектирования и изготовления сложных технических систем уже ни у кого не вызывает сомнения. Различные системы автоматизированного проектирования CAD/CAE сейчас широко используются в научно-исследовательских, проектных и производственных организациях практически всех отраслей промышленности. Следует отметить, что системы типа CAE делятся на узкоспециализированные (например, Deform и Qform) и ориентированные на решение широкого спектра задач, такие как программные комплексы ANSYS, ABAQUS, Nastran [2]. Далее представлен обзор наиболее известных программ для моделирования и анализа напряженно-деформированного состояния конструкций из композиционных материалов [3].

ANSYS Composite PrepPost (ASP) обеспечивает создание моделей конструкций из композиционных материалов. Этот специализированный пре/постпроцессор позволяет обмениваться данными с другими программными продуктами ANSYS. Для анализа результатов решения в модуле реализована возможность комплексной оценки модели по нескольким критериям разрушения. В результате выводятся данные по самым проблемным зонам модели и вариантам нагружения (рис. 1). Модуль АСП полностью интегрирован в среду ANSYS Workbench и при необходимости запускается из специального меню в расчетном модуле Workbench.

В удобном объектно-ориентированном графическом интерфейсе можно управлять расчетной моделью в структурированной древообразной схеме. Каждый слой может быть изготовлен из собственного композиционного материала, и ориентация каждого главного направления может быть различной. Для слоистого композита

направление волокон определяет схема армирования каждого слоя. Для определения конфигурации слоев существуют два метода: определение свойств каждого слоя непосредственно или ввод определяющих матриц, которые задают соотношения между силами/моментами и общими деформациями/кривизной [4].

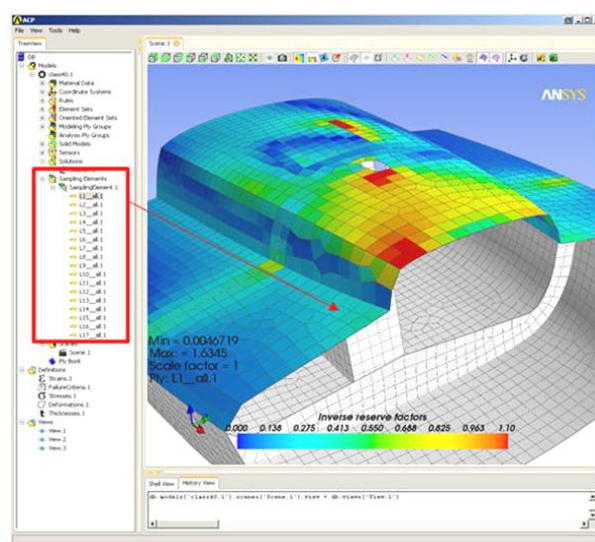


Рис. 1. Анализ результатов решения в ANSYS Composite PrepPost [1]

Helius: CompositePro является «настольным» инструментом, предоставляющим доступ к основным методам анализа композитов как на микроуровне, так и на основе классической теории многослойных стержней и пластин, сэндвич-панелей.

Функции, реализованные в Helius: CompositePro, являются связующим звеном между «ручными» расчетами и полномасштабным конечно-элементным анализом, позволяя сэкономить время, затрачиваемое на проектирование изделий из композитов (рис. 2).

Композитные материалы имеют гораздо более сложные свойства, чем традиционные материалы, такие как сталь. В данном программном обеспечении учитываются дополнительные сложности этих материалов и предлагаются значительные возможности для моделирования композитов, таких как слоистые оболоч-

чечные элементы и слоистые элементы сплошной среды, обобщенное определение сечения для свойств композитного слоя и ориентации, расширенные критерии разрушения, и модели материалов для связующей зоны для изучения расслаивания (деламинации) композитной структуры. Благодаря сотрудничеству ANSYS с Firehole, возможно выполнять анализ композитов с гораздо большей точностью и проводить глубокие исследования поведения материалов на микроуровне [5].

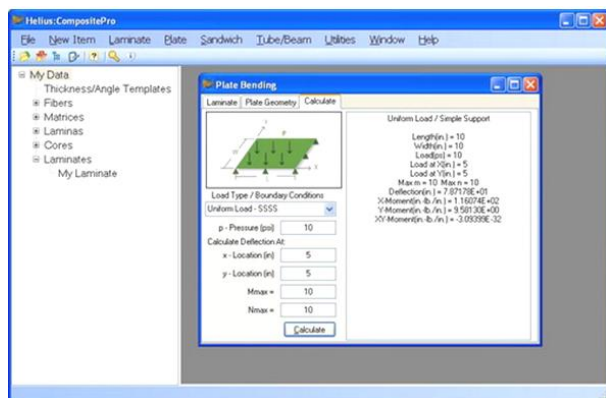


Рис. 2. Рабочее окно Helius: CompositePro

ABAQUS – программный комплекс для прочностного конечноэлементного анализа сложных линейных и нелинейных инженерных проблем. Данный продукт позволяет рассчитывать сложное нелинейное напряженно-деформированное состояние сооружений и оценивать их прочность и устойчивость с учетом многофакторного нагружения. Моделирование может производиться с учетом влияния предварительного нагруженных элементов с одновременным расчетом оснований и сочетаний нагрузок, с контактными взаимодействиями и моделированием разрушений.

С помощью имеющихся в программе средств моделирования может быть решен широкий спектр прикладных задач. Типы анализа в ABAQUS могут быть объединены в любой физически разумной форме. Например, один расчет может объединять нелинейный статический анализ и следующий за ним нелинейный динамический анализ, в котором результат статического анализа обеспечивает начальные условия для определения динамического отклика. Пользователь разбивает историю нагружения на шаги, основываясь исключительно на удобстве. Для чисто линейного анализа каждый шаг является, по существу, случаем нагружения. В случае нелинейного анализа каждый шаг – это одна ступень в общей истории нагружения. Тип анализа задается внутри каждого шага. В нелинейном анализе начальными условиями для каждого шага является состояние модели в конце предыдущего шага. Такая зависимость обеспечивает удобство при анализе сложных историй нагружения, таких как технологический процесс. Каждый шаг разделяется на приращения; в каждом приращении ABAQUS производит итерации для определения равновесного состояния, используя в большинстве случаев полный метод Ньютона. Критерий сходимости ABAQUS определяет автоматически, хотя пользователь может вручную откорректировать эти величины [6].

К преимуществам данного программного комплекса относится также наличие большого количества

нелинейных моделей материалов, что позволяет эффективно и с большой точностью решать задачи с учетом реологических свойств материалов. Отличительной особенностью ABAQUS является возможность использования собственных подпрограмм, что позволяет создавать свои модели поведения различных материалов, конечные элементы и типы нагрузок. ABAQUS включает в себя проверенную библиотеку современных элементов для высокой эффективности и точности вычислений. Все элементы пригодны для линейного или нелинейного анализа. Гибкие возможности рестарта обеспечивают защиту против внезапной аварийной остановки расчета. Использование пользовательских подпрограмм дает дополнительную гибкость в продвинутых приложениях [7].

Программные продукты MSC, в основе которых лежит метод конечных элементов, позволяют моделировать сложные физические процессы, решать задачи штамповки,ковки и других технологических процессов.

Системы, разработанные MSC Software Corporation, гарантируют получение надежных результатов и высокую экономическую эффективность, без которых невозможен успех в условиях рыночной экономики. Они применяются на всех стадиях жизненного цикла изделий – при проектировании, в процессе производства и эксплуатации.

Программы MSC отвечают практически всем потребностям в области проектирования конструкций или инженерных расчетов. Разные уровни программных пакетов можно использовать на различных платформах – от персональных компьютеров до рабочих станций и суперкомпьютеров. Гибкая модульная структура продуктов MSC позволяет сформировать оптимальный пакет программных средств, реализующих самые передовые компьютерные технологии и учитывающих специфику конкретного предприятия.

Программное обеспечение MSC Nastran обеспечивает полный набор расчетов, включая расчет напряженно-деформированного состояния, запасов прочности, собственных частот и форм колебаний, анализ устойчивости, исследование установившихся и неустановившихся динамических процессов, решение задач теплопередачи, акустических явлений, нелинейных статических и нелинейных переходных процессов, анализ сложного контактного взаимодействия, расчет критических частот и вибраций роторных машин, анализ частотных характеристик при воздействии случайных нагрузок и импульсного широкополосного воздействия, исследование аэроупругости на дозвуковых и сверхзвуковых скоростях. Предусмотрена возможность моделирования практически всех типов материалов, включая композитные и гиперупругие. В состав расширенных функций входит технология суперэлементов (подконструкций), включая продвинутые методы динамических конденсаций, модальный синтез и развитые методы анализа динамики сложных структур на основе суперэлементов и формулировок метода Крейга-Бемптона [8].

DEFORM-3D – мощная система моделирования технологических процессов, предназначенная для анализа трехмерного (3D) поведения металла при различных процессах обработки давлением. DEFORM-3D предоставляет важную информацию о течении материала

ла в штампе и распределении температур во время процесса деформирования. С помощью данного пакета программ возможно моделирование таких процессов, как: ковка, горячая, полугорячая и холодная штамповка, прессование, прокатка, вытяжка и многие другие процессы. DEFORM-3D имеет простой и удобный русифицированный Windows-интерфейс, не требующий длительного изучения (рис 3). Специальные шаблоны облегчают новичкам работу с системой и помогают быстро задавать несложные процессы и запускать их на счет [9].

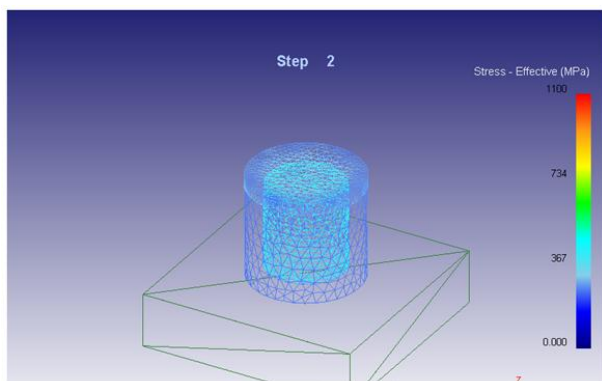


Рис. 3. Графическое отображение результатов моделирования в DEFORM-3D

Автоматический сеточный генератор DEFORM-3D строит оптимизированную конечно-элементную сетку, сгущая её в наиболее критичных зонах. Благодаря этому с системой могут работать даже пользователи без опыта работы с конечно-элементными системами. Кроме того, пользователь имеет возможность самостоятельно настраивать плотность сетки, распределение ее элементов по сечению и параметры ее автоматического перестроения.

К достоинству DEFORM-3D можно отнести сравнительно небольшие затраты времени на изучение данного программного комплекса, что обусловлено его специализацией на процессах обработки металлов давлением, однако подобная направленность не позволяет отнести DEFORM-3D к универсальным программным комплексам.

В результате проведенного анализа программных продуктов для расчета механических свойств композиционных материалов выделены три наиболее подходящих для данной задачи пакета программ: ANSYS, ABAQUS, MSC Nastran, поскольку они являются универсальными программами, позволяющими решать широкий спектр задач. Они имеют большую всемирную базу клиентов и постоянно интенсивно используются при решении широкого спектра задач. Программные комплексы обладают модульной структурой, позволяющей задавать исходные данные расчета в текущем модуле, что облегчает работу с данной программой и представляет более удобный интерфейс. Техническая поддержка данных комплексов на начальном этапе изучения программ позволяет установить и освоить программу в максимально короткие сроки, а также обеспечивает взаимодействие с пользователями на протяжении всего периода действия лицензии. Пред-

ставленные программные комплексы позволяют проводить сложные линейные и нелинейные расчеты и моделирование поведения трехмерных объектов в сжатые сроки, сравнимые по временным затратам с использованием инженерных методов для двухмерных задач. В экономическом аспекте наиболее доступными являются пакеты программ ABAQUS, MSC Nastran, Deform-3D. Следует отметить отсутствие академической версии ANSYS Composite PrepPost в доступном ценовом сегменте для вузов. Представленные программы имеют документацию как в печатном, так и в электронном виде. Программные комплексы работают на всех основных платформах и операционных системах. В результате проведенного анализа программных комплексов поставленным критериям наиболее полно соответствует универсальный программный комплекс ABAQUS, позволяющий моделировать широкий спектр задач, в том числе деформацию и разрушение конструкций из композиционных материалов, Deform-3D целесообразно использовать для специализированных задач обработки давлением компактных материалов.

Список литературы

1. NanoWeek, № 87, 2009 [Электронный ресурс] / ANSYS Composite PrepPost 120 – создание моделей конструкций из композиционных материалов. URL: <http://www.nanonewsnet.ru/nanoweek/87>, свободный.
2. Институт космических исследований [Электронный ресурс] / Е.Н. Чумаченко, Т.В. Полякова, С.А. Аксенов, С.А. Бобер, И.В. Логашина, В.Н. Корзо, О.С. Ерохина. Математическое моделирование в нелинейной механике. М., 2009. URL: <http://www.iki.rssi.ru/books/2009chumachenko.pdf>
3. Алешин В., Кобыakov В., Селезнев В. Анализ прочности промышленных трубопроводов в ANSYS и ABAQUS // САПР и графика. 2004. №7
4. ANSYS [Электронный ресурс] / ANSYS Composite PrepPost. URL: <http://ansys.soften.com.ua/the-decisions/103-ansys-composite-preppost.html>, свободный.
5. CompMechLab [Электронный ресурс] / Доступна новая версия программы Hellius: CompositePro™ Version 4.0. от Firehole Technologies, Inc. URL: <http://www.fea.ru/modules.php?name=News&file=print&sid=1666>.
6. ProCAE.ru [Электронный ресурс] / Обзор программных продуктов, реализующих CAD, CAE-технологии. URL: <http://www.procae.ru/articles/15/13.html>.
7. Граблин И.П. Моделирование упругих элементов в средах компьютерного инжиниринга // Сборник материалов III Всеукраинской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 16-18 апреля 2012, Донецк. Донецк, 2012.
8. CADmaster журнал для профессионалов в области САПР [Электронный ресурс] / Комп. технологии инженерного анализа в новом тысячелетии. URL: http://www.cadmater.ru/magazin/articles/cm_15_msc_software.html.
9. Тесис [Электронный ресурс] / Deform. URL: <http://www.thesis.com.ru>.

Bibliography

1. NanoWeek, № 87, 2009 [electronic resource] / ANSYS Composite PrepPost 12.0 – model building structures made of composite materials. URL: <http://www.nanonewsnet.ru/nanoweek/87>.
2. Space Research Institute [electronic resource] / E. Chumachenko, TV Polyakov, SA Aksenov, SA Beaver, IV Logashina, VN Korzo, O.S.Erohin. Mathematical modeling of non-linear mechanics. M., 2009. URL: <http://www.iki.rssi.ru/books/2009chumachenko.pdf>, free..
3. Aleshin V., Kobayakov V., Seleznev V., Analysis of the strength of industrial pipelines in the ANSYS and ABAQUS // CAD and graphics. 2004. № 7.
4. ANSYS [electronic resource] / ANSYS Composite PrepPost. URL: <http://ansys.soften.com.ua/the-decisions/103-ansys-composite-preppost.html>.
5. CompMechLab [electronic resource] / There is a new version of Hellius: CompositePro™ Version 4.0. by Firehole Technologies, Inc. URL: <http://www.fea.ru/modules.php?name=News&file=print&sid=1666>.
6. ProCAE.ru [electronic resource] / Overview of software products implement CAD, CAE-technologies. URL: <http://www.procae.ru/articles/15/13.html>.
7. Tines IP Simulation of elastic elements in the environment of computer engineering / Materials III All-Ukrainian scientific-technical conference of students and young scientists, 16-18 April 2012, Donetsk. Donetsk, 2012.
8. CADmaster magazine for professionals in the field of CAD [electronic resource] / computer technology engineering analysis in the new millennium. URL: http://www.cadmater.ru/magazin/articles/cm_15_msc_software.html.
9. Tesis [electronic resource] / Deform. URL: <http://www.thesis.com.ru>.

НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

УДК 622.233

Султаналиев Б.С., Жусупбеков Б.Т.

ВЛИЯНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ ГИДРОСИСТЕМЫ НА ВИБРАЦИЮ И ВЫХОДНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ МОЛОТКА

В работе представлены результаты теоретического исследования влияния упругих свойств гидросистемы на вибрацию и выходные показатели ручного гидравлического молотка. Для упрощения теоретического исследования введен обобщенный параметр, характеризующий упругие свойства гидросистемы.

Ключевые слова: гидравлический молоток, вибрация, упругие свойства, частота, энергия удара, ударный механизм.

In work influence of elastic properties of hydrosystem on vibration and for the weekend indicators of a manual hydraulic hammer is presented results of theoretical research. For simplification of theoretical research the generalized parameter characterizing elastic properties of hydrosystem is entered.

Keywords: manual hydraulic hammer, the piston-hammer, tool, pulling force, vibration, vibration, velocity, fluid pressure, impact energy, the frequency of attacks.

Выходные показатели ручного гидравлического молотка в значительной степени зависят от податливости элементов гидропривода, одними из которых являются резинометаллические рукава высокого давления, предназначенные для подачи жидкости от насоса к ударному механизму. Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено, что изменение объема напорной гидролинии, характеризующего упругие свойства гидросистемы, оказывает существенное влияние на энергию удара, частоту ударов и ударную мощность, приводя к их увеличению при уменьшении объема [1].

В данной работе ставится цель определить, насколько влияют упругие свойства гидросистемы на вибрацию и на выходные показатели ручного гидравлического молотка «Импульс 3». В институте машиноведения Национальной академии наук Кыргызской Республики с 1998 года ведутся научно-исследовательские работы по созданию и совершенствованию конструкции ручных гидравлических молотков. Была составлена математическая модель ручного гидравлического молотка, в которой длина рукавов определяет и объем рабочей жидкости в гидросистеме. Поэтому длина шлангов определяет и расход жидкости в расчетной модели за счет деформации стенок трубопроводов, и расход жидкости за счет сжимаемости объема рабочей жидкости в гидросистеме.

Для определения давления в напорной линии используем уравнение неразрывности потока жидкости в системе «насос – рукав – молоток»:

$$Q_n = Q_{ум} + Q_{ут} + Q_{сж} + Q_{тр}, \quad (1)$$

где $Q_{ум}$ – расход жидкости, потребляемой ударным механизмом; $Q_{ут}$ – утечки жидкости в ударном меха-

низме; $Q_{сж}$ – расход жидкости, обусловленный сжимаемостью рабочей жидкости; $Q_{тр}$ – расход жидкости, обусловленный деформацией трубопроводов.

Расход жидкости, потребляемый ударным механизмом, зависит от скорости поршня-ударника и определяется из следующего уравнения:

$$Q_{ум} = S(x, v_p) \cdot v_p, \quad (2)$$

где v_p – скорость поршня-ударника; $S(x, v_p)$ – кусочно-постоянная функция, зависящая от схемы распределения потока жидкости и площадей поясков поршня-ударника,

$$S(x_{к-р}, v_p) = \begin{cases} S_{ну}, & \text{если } x_{к-р} \leq x_{неп}, \\ -S_{ну} + S_y, & \text{если } x_{неп} + x_{ход} \leq x_{к-р}, \\ S_{ну}, & \text{если } x_{неп} \leq x_{к-р} \leq x_{неп} + x_{ход} \text{ и } v_p \geq 0, \\ -S_{ну} + S_y, & \text{если } x_{неп} \leq x_{к-р} \leq x_{неп} + x_{ход} \text{ и } v_p \leq 0. \end{cases} \quad (3)$$

Величину утечек жидкости можно представить в виде зависимости от давления в ударном механизме и направления движения поршня-ударника:

$$Q_{ут} = \pi D \left(\frac{p \delta^3}{12 \mu l} \mp \frac{\delta}{2} v_p \right), \quad (4)$$

где δ – зазор между корпусом и поршнем-ударником; μ – коэффициент динамической вязкости жидкости; l – длина зазора; D – диаметр пояска поршня-ударника; p – давление жидкости.

Величину расхода жидкости, обусловленную ее сжимаемостью, можно определить по формуле

$$Q_{сж} = \frac{V_{мп}}{E_{эс}} \frac{dP}{dt}, \quad (5)$$

где V_{mp} – объем жидкости в трубопроводах и камерах механизма; $E_{жс}$ – модуль упругости жидкости; t – время.

Расход жидкости, учитывающий упругость и деформацию стенок трубопроводов, выразим следующим образом:

$$Q_{mp} = \frac{V_{mp}}{E_{mp}} \frac{dP}{dt}, \quad (6)$$

где E_{mp} – приведенный модуль упругости стенок трубопроводов.

Определим приведенный модуль упругости E_{mp} по приближенной экспериментальной формуле

$$E_{mp} = E_{am} + A_y \sqrt{P - P_{am}} + B_y f_n, \quad (7)$$

где E_{am} – модуль объемной упругости стенок при атмосферном давлении; A_y, B_y – опытные коэффициенты; f_n – частота колебаний давления.

После подстановки соответствующих значений расходов и преобразования относительно старшей производной давления уравнение неразрывности потока приводится к виду

$$\frac{dP}{dt} = \frac{Q_n - S(x_{к-р}, v_p) v_p - \epsilon P \pm b v_p}{V_{TP} \left(\frac{1}{E_{жс}} + \frac{1}{E_{mp}} \right)}, \quad (8)$$

где введены следующие обозначения для постоянных составляющих:

$$\epsilon = \frac{\pi D P \delta^3}{12 \mu l}; \quad b = \frac{\pi D \delta}{2}. \quad (9)$$

Упругие свойства гидросистемы зависят от упругих свойств трубопроводов (коэффициента упругости, длины и диаметра трубопроводов) и от упругих свойств и объема рабочей жидкости. Также упругие свойства гидросистемы зависят от температуры и давления рабочей жидкости и от интенсивности рабочих процессов (частоты ударов) молотка. Поэтому для упрощения теоретического исследования введем обобщенный параметр $Y_{об}$, характеризующий упругие свойства гидросистемы:

$$Y_{об} = V_{TP} \left(\frac{1}{E_{жс}} + \frac{1}{E_{mp}} \right). \quad (10)$$

Используя обобщенный параметр, характеризующий упругие свойства гидросистемы, рассмотрим влияние на работу и вибрацию молотка (см. рисунок).

Полученные результаты показывают, что энергия ударов (см. рисунок, а) до значения $Y_{об} = 2,184 \cdot 10^{-12}$ увеличивается, при значениях $Y_{об} > 2,184 \cdot 10^{-12}$ снижается на 11%, частота ударов (см. рисунок, б)

уменьшается на 6%. Уровень вибрации рукоятки снижается на 9%, и для обеспечения колебания рукоятки в пределах санитарной нормы 110 Дб необходимо обеспечить значение параметра $Y_{об}$ не менее $4,8 \cdot 10^{-12}$, т.е. если диаметр трубопровода равен 12 мм, то длина трубопровода должна быть не менее 5 м.

В табл. 1 приведено значение обобщенного параметра $Y_{об}$ в зависимости от длины трубопроводов внутренним диаметром 12 мм.

Таблица 1

Значение обобщенного параметра в зависимости от длины трубопроводов с внутренним диаметром 12 мм

Длина трубопровода, м	1	3	5	7	10
Значение $Y_{об}$	$2,1 \cdot 10^{-12}$	$3,6 \cdot 10^{-12}$	$5 \cdot 10^{-12}$	$7,3 \cdot 10^{-12}$	$1 \cdot 10^{-11}$

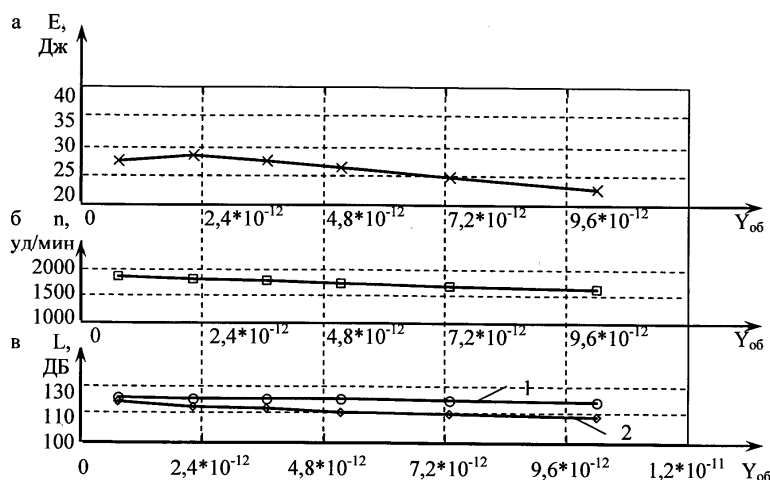
Диаметр трубопровода тоже влияет на выходные показатели и уровень вибрации молотка. При внутреннем диаметре трубопровода 14 мм энергия ударов снижается на 11%, а частота ударов – на 9%. Уровень вибрации рукоятки уменьшается на 16%, и для обеспечения колебания рукоятки в пределах санитарной нормы 110 Дб, как видно из рисунка, значение обобщенного показателя $Y_{об}$ должно быть не менее $4,8 \cdot 10^{-12}$.

В табл. 2 представлено значение обобщенного параметра $Y_{об}$ в зависимости от длины трубопровода с внутренним диаметром 14 мм.

Таблица 2

Значение обобщенного параметра в зависимости от длины трубопроводов с внутренним диаметром 14 мм

Длина трубопровода, м	1	3	5	7	10
Значение $Y_{об}$	$2,9 \cdot 10^{-12}$	$4,9 \cdot 10^{-12}$	$6,9 \cdot 10^{-12}$	$9,9 \cdot 10^{-12}$	$13 \cdot 10^{-12}$



Влияние обобщенного параметра на работу ручного гидравлического молотка

Выводы:

1. Упругие свойства гидросистемы зависят от упругих свойств трубопроводов (коэффициента упругости, длины и диаметра трубопроводов) и от упругих свойств и объема рабочей жидкости. Также упругие свойства гидросистемы зависят от температуры и давления рабочей жидкости и от интенсивности рабочих процессов (частоты ударов) молотка.

2. Введен обобщенный параметр, учитывающий упругие свойства трубопровода $Y_{об}$. Полученные результаты показывают, что с увеличением обобщенного параметра энергия удара незначительно растет, а далее уменьшается, а также снижается частота ударов. При этом уровень вибрации рукояти падает.

Список литературы

1. Готов Б.Н., Пивень Г.Г. Теоретические вопросы создания ручного гидравлического молотка. Караганда, 2000. 81 с.
2. Ураимов М., Султаналиев Б.С. Гидравлические молоты. Бишкек: «ИЛИМ», 2003. 239 с.
3. Алимов О.Д., Басов С.А. Гидравлические виброударные системы. М.: Наука, 1990. 352 с.
4. Кирьянов Д.В. Mathcad 13. Санкт-Петербург: БВХ–Петербург, 2006. 584 с.
5. Навроцкий К.Л. Теория и проектирование гидро- и пневмоприводов. М.: Машиностроение, 1991. 380 с.

Bibliography

1. Glotov B.N., Piven George. Theoretical questions of creation of a manual hydraulic hammer. Karaganda, 2000. 81 p.
2. Uraimov M., Sultanaliyev B. S. Hydraulic hammers. Bishkek: «ILYM», 2003. 39 p.
3. Alimov O.D., Page Basses. And. Hydraulic vibroudarny systems. M.: Science 1990. 352 p.
4. Kiryanov D.V. Mathcad 13 Sank-Petersburg «BVH-Petersburg», 2006. 584 p.
5. Navrotsky K.L. Theor and design a hydra – and pneumodrives. M.: «Mechanical engineering», 1991. 380 p.

ЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

УДК 621.311.163

Малафеев А.В., Кочкина А.В., Панова Е.А.

ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТЕЙ МЕЖДУ ГЕНЕРАТОРАМИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПОФАЗНОМ РЕМОНТЕ ОБОРУДОВАНИЯ ПИТАЮЩИХ СЕТЕЙ*

В статье рассмотрен алгоритм оптимизации загрузки генераторов собственных электростанций промышленных предприятий при длительном пофазном выводе в ремонт автотрансформаторов, установленных на системных подстанциях напряжением 500 кВ, с учетом разнородности состава генерирующего оборудования, потерь в распределительной сети, ограничений на величины токов обратной последовательности и фазных токов турбогенераторов. Для определения параметров неполнофазного режима используется сочетание методов последовательного эквивалентирования и симметричных составляющих. Для получения оптимальной загрузки генераторов применяется сочетание модифицированных методов динамического программирования и последовательного эквивалентирования.

Ключевые слова: автотрансформатор, неполнофазный режим, электростанция, турбогенератор, оптимизация загрузки генераторов, модифицированный метод динамического программирования, ограничения по току статора генератора, метод последовательного эквивалентирования.

The algorithm of local industrial power plant generators load optimization in terms of 500 kV bulk transmission substation auto-connected transformer continuous single-phase scheduled-outage taking into account generating equipment heterogeneity, power losses in distribution system, limitation of negative-sequence and phase current in generator stator wind. The combination of successive reduction and symmetrical components methods is used for single-phase operating conditions computation. Combination of successive reduction and dynamic programming methods is used for optimal generators load computation.

Keywords: autoconnected transformer, single-phase operating conditions, power plant, turbo generator, generator load optimization, modified dynamic programming method, limitation of generator stator wind current, successive reduction method.

В сетях напряжением 500 кВ и выше одним из возможных ремонтных режимов является пофазный вывод в ремонт автотрансформаторов (АТ). При отсутствии резервной фазы и заводском ремонте поврежденной данный режим может существовать несколько месяцев. Существующие методики планирования ремонтных режимов предполагают учет потребителей узлами пассивной нагрузки, вместе с тем на крупных промышленных предприятиях развита собственная генерация, что приводит к необходимости коррекции оптимального распределения мощностей между местными источниками на все время существования такого режима. Для решения этой задачи в работе предложена следующая методика.

Для расчета неполнофазного режима работы электрической сети при выводе в ремонт одной из фаз АТ в расчетную схему вводятся элементы-границы неполнофазного участка (элементы 1, 2 и 3 на рисунке, а), подключаемые к выводам всех обмоток автотрансформатора. Расчетная схема и схема замещения в таком случае будут иметь вид, приведенный на рисунке.

Начальным этапом расчета является определение параметров исходного симметричного режима работы с

использованием метода последовательного эквивалентирования [1]. На основе результатов расчета исходного режима выявляется элемент-граница с наибольшим напряжением, с учетом наличия на неполнофазном участке трансформаторных связей. Например, при наибольшем напряжении на элементе 1 (см. рисунок):

$$\Delta \dot{U}_{(1-2)} = (\dot{U}_{исх.1} - \dot{U}_{исх.2}) \cdot K_{T(AT-1)} \cdot K_{T(AT-2)};$$

$$\Delta \dot{U}_{(1-3)} = (\dot{U}_{исх.1} - \dot{U}_{исх.3}) \cdot K_{T(AT-1)} \cdot K_{T(AT-3)};$$

где $\dot{U}_{исх.1}$, $\dot{U}_{исх.2}$, $\dot{U}_{исх.3}$ – напряжения в исходном режиме на элементах-границах 1, 2 и 3 соответственно; $K_{T(AT-1)}$, $K_{T(AT-2)}$, $K_{T(AT-3)}$ – коэффициенты трансформации.

Данное падение напряжения раскладывается на симметричные составляющие в зависимости от наименования выведенной в ремонт фазы и вводится в схему замещения элементов-границ неполнофазного участка в виде добавочной ЭДС. Далее выполняется расчет ЭДС в поперечной ветви элементов-границ неполнофазного участка, причем для элемента с наибольшим напряжением в исходном режиме данная ЭДС равна нулю. Для остальных элементов-границ поперечная ЭДС прямой последовательности опреде-

* Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы, мероприятие 1.3.2, соглашение №14.132.21.1758.

ляется как сумма напряжения в исходном режиме и добавочной ЭДС, а для схем обратной и нулевой последовательности поперечная ЭДС элементов-границ равна добавочной. Так, для рассматриваемого на рисунке примера при выводе в ремонт фазы А АТ:

$$\dot{E}_{1.нф1} = \dot{E}_{1.нф2} = \dot{E}_{1.нф0} = 0;$$

$$\dot{E}_{2.нф1} = \dot{U}_{усх.2} + \Delta\dot{E}_{2.1} = \dot{U}_{усх.2} + \frac{2}{3}\Delta\dot{U}_{(1-2)};$$

$$\dot{E}_{2.нф2} = \dot{E}_{2.нф0} = \Delta\dot{E}_{2.2} = \Delta\dot{E}_{2.0} = -\frac{1}{3}\Delta\dot{U}_{(1-2)};$$

$$\dot{E}_{3.нф1} = \dot{U}_{усх.3} + \Delta\dot{E}_{3.1} = \dot{U}_{усх.3} + \frac{2}{3}\Delta\dot{U}_{(1-3)};$$

$$\dot{E}_{3.нф2} = \dot{E}_{3.нф0} = \Delta\dot{E}_{3.2} = \Delta\dot{E}_{3.0} = -\frac{1}{3}\Delta\dot{U}_{(1-3)},$$

где $\dot{E}_{i.нф1}$, $\dot{E}_{i.нф2}$, $\dot{E}_{i.нф0}$ – поперечная ЭДС прямой, обратной и нулевой последовательности i -го элемента-границы неполнофазного участка; $\Delta\dot{E}_{i,1}$, $\Delta\dot{E}_{i,2}$, $\Delta\dot{E}_{i,0}$ – добавочная ЭДС симметричных составляющих.

Далее выполняется расчет параметров неполнофазного режима с использованием сочетания методов последовательного эквивалентирования и симметричных составляющих. Для исключения влияния ЭДС разрыва на параллельно работающий АТ в продольную ветвь элементов-границ с ненулевой поперечной ЭДС вводятся проводимости, параметры которых определяются на основе результатов расчета неполнофазного режима (на рисунке, а это Y_{11} , Y_{22} и Y_{32}). На заключительном этапе расчета выполняется определение параметров режима продольной несимметрии с учетом сопротивлений в продольной ветви элементов-границ неполнофазного участка.

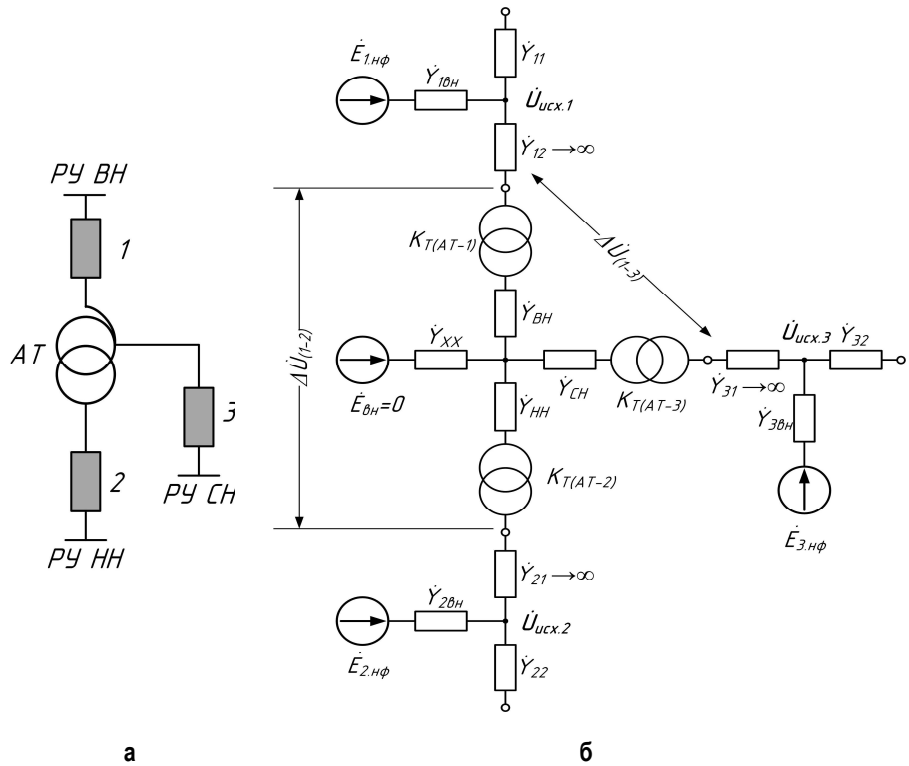
Для оптимального распределения активных мощностей между разнородными генерирующими источниками с учетом потерь активной мощности в распределительной сети системы электропитания промышленного предприятия используется модифицированный метод динамического программирования в сочетании с модифицированным методом последовательного эквивалентирования.

Сочетание данных методов позволяет использовать целевую функцию, имеющую точки недифференцируемости, перегибы, кроме того, ограничения задаются как в форме равенств, так и неравенств. В качестве исходных данных принимаются технико-экономические характеристики генераторов, которые представляют собой для турбогенераторов зависимость себестоимости пара, а для газотурбинных, парогазовых и газопоршневых установок – зависимость стоимости 1 м^3 используемого энергетического ресурса от мощности на клеммах генератора.

Целевая функция задается суммарными затратами, учитывающими затраты на пар, необходимый для выработки электрической и тепловой энергии, стоимость потерь мощности и стоимость электроэнергии, покупаемой из энергосистемы. Критерий оптимальности записывается следующим образом:

$$C_n = \min \left(\sum_{i=1}^n (B_i(x_i) + B_{omi}(x_i) + C_{\Delta Pi}(x_i) + C_{при}(x_i)) \right),$$

где x_i – оптимальное управление на i -м шаге эквивалентирования; $B_i(x_i)$ – стоимость расхода пара на выработку электроэнергии при нагрузке $P_{из}(x_i)$ (суммарная активная мощность, вырабатываемая генераторами, МВт), тыс. руб./ч; $D_{omi}(x_i)$ – стоимость расхода пара через отборы, тыс. руб./ч; $C_{\Delta Pi}(x_i)$ – стоимость потерь активной мощности ΔP_i в системе электропитания при нагрузке $P_{из}(x_i)$, тыс. руб./ч; $C_{при}(x_i)$ – стоимость электроэнергии $P_{при}$ при нагрузке $P_{из}(x_i)$, тыс. руб./ч.



Фрагмент расчетной схемы (а) и схема замещения неполнофазного участка сети (б)

Независимые ограничения представляют собой равенства и неравенства, учитывающие минимальную и максимальную выработку активной мощности генераторами, баланс мощности в системе электроснабжения и ограничения по приему мощности из системы:

$$\begin{cases} P_{j,\min} \leq P_j \leq P_{j,\max}, \\ \sum p_j - \sum P_j + \Delta P_j = P_{ex}, \\ P_{ex,\min} \leq P_{ex} \leq P_{ex,\max}, \end{cases} \quad (1)$$

где $P_{j,\min}$, $P_{j,\max}$ – максимальное и минимальное значение мощности, вырабатываемой j -м генератором, МВт; P_j – мощность, вырабатываемая j -м генератором, МВт; $\sum P_j$ – мощность, вырабатываемая генераторами, МВт; $\sum p_j$ – мощность нагрузки, МВт; ΔP_j – потери мощности в системе электроснабжения, МВт; $P_{ex,\min,j}$, $P_{ex,\max,j}$ – минимальное и максимальное значение мощности, потребляемой из энергосистемы, МВт; P_{ex} – мощность, потребляемая из энергосистемы, МВт.

Наряду с независимыми ограничениями учитываются и зависимые ограничения на токи и потоки мощности линий электропередачи или трансформаторов из условий нагрева:

$$\begin{cases} U_{i,\min} \leq U_i \leq U_{i,\max}, \\ S_{i,\min} \leq S_i \leq S_{i,\max}. \end{cases} \quad (2)$$

В настоящей работе предлагается с целью учета возможных неполнофазных режимов работы сетей 500 кВ ввести дополнительные ограничения на величины токов обратной последовательности и фазных токов турбогенераторов, корректируя первое уравнение системы (1) следующим образом:

$$P_{j,\min} \leq P_j \leq P_{j,\max} - \Delta P_{oon,j},$$

где $\Delta P_{oon,j}$ – снижение максимальной мощности j -го генератора, обусловленное несимметрией фазных токов на его выводах.

Согласно [2] при расчете $\Delta P_{oon,j}$ учитывались ограничения по току обратной последовательности ($5\% I_{ном,j}$), разности фазных токов турбогенератора ($12\% I_{ном,j}$) и величинам фазных токов (ток установившегося режима при заданном коэффициенте мощности и $P_j = P_{j,\max}$). $\Delta P_{oon,j}$ при условии, что реактивная мощность остается неизменной при переходе к неполнофазному режиму ($\Delta Q_{oon,j} = 0$), определяется по следующему выражению:

$$\Delta P_{oon,j} = \Delta S_{oon,j} = \sqrt{3} \cdot \Delta I_j U_{j,\phi,(I\ нб)},$$

где ΔI_j – снижение максимально допустимого фазного тока; $U_{j,\phi,(I\ нб)}$ – напряжение фазы с наибольшим током.

Величину ΔI_j предлагается определять следующим образом. Первоначально вводится ограничение по фаз-

ному току. При этом ΔI_j может быть определено как $\Delta I_j = I_{j,\phi,\text{нб}} - I_{j,\text{max}}$, где $I_{j,\phi,\text{нб}}$ – наибольший фазный ток генератора в несимметричном режиме. Введем дополнительную величину $K_{j,\text{max}} = I_{j,\text{max}} / I_{j,\text{ном}}$. Тогда, учитывая ограничение по разности фазных токов, получаем:

$$\Delta I_j = I_{j,\phi,\text{нб}} - K \cdot (I_{j,\phi,\text{нб}} - I_{j,\phi,\text{нм}}) / 0,12,$$

где $I_{j,\phi,\text{нб}}$ – наименьший из фазных токов генератора в несимметричном режиме.

Последним вводится ограничение по допустимому току обратной последовательности. С учетом этого ограничения выражение для определения ΔI_j будет иметь вид

$$\Delta I_j = \left| I_{j,1} \left(e^{j\phi_{нб,1}} - 8,33 K e^{j\phi_{нб,1}} + 8,33 K e^{j\phi_{нм,1}} \right) + I_{j,\text{ном}} \left(0,05 e^{j\phi_{нб,2}} - 0,417 K e^{j\phi_{нб,2}} + 0,417 K e^{j\phi_{нм,2}} \right) \right|,$$

где $I_{j,1}$ – модуль тока прямой последовательности; $\phi_{нб,1}$, $\phi_{нб,2}$ – начальные фазы токов прямой и обратной последовательности фазы с наибольшим током генератора; $\phi_{нм,1}$, $\phi_{нм,2}$ – начальные фазы токов прямой и обратной последовательности фазы с наименьшим током генератора.

Примем $C_n(P_n)$ равной минимальному значению суммы функций B_n , $B_{омн}$, $C_{\Delta P}$ и C_{np} от 1 до n шагов (получаемое при оптимальном управлении на данном отрезке), при условии, что система в начале шага n находится в состоянии P_{n-1} . Здесь P_n – суммарный прием от электростанций и системы.

Как правило, для промышленных предприятий с собственными генерирующими источниками региональное диспетчерское управление задает фиксированное значение мощности на границе раздела P_{npi} . В этом случае основное рекуррентное уравнение, которому должны удовлетворять функции C_n , записывается как:

$$C_n(P_n) = \min_{x_n \in X_n} \times (C_{n-1}[P_n - p_n(x_n)] + B_n(x_n) + C_{\Delta P(n)}(x_n) + C_{np(n)}).$$

Уравнения состояния в результате управления x_n имеют вид

$$P_n = P_{n-1} + p_n(x_n) + \Delta P_n(x_n).$$

В результате обратного хода решения задачи динамического программирования получаем минимумы затрат на производство, передачу и прием электрической энергии из энергосистемы с учетом теплофикационной нагрузки и нетопливных составляющих затрат на каждом шаге решения и соответствующее им распределение загрузки генераторов. Подробно алгоритм нахождения оптимального распределения активной мощности с учетом ее потерь в элементах сети в системе электроснабжения промышленного предприятия приведен в [3].

Выводы:

1) с целью планирования длительных ремонтных режимов разработана схема замещения участка сети, содержащего автотрансформатор, одна из фаз которого выведена в ремонт;

2) для решения задачи оптимального распределения мощностей между местными генерирующими источниками в указанных режимах предложена методика коррекции ограничений по пределам генерации турбогенераторов на основе результатов расчета ремонтного режима.

Список литературы

1. Модифицированный метод последовательного эквивалентирования для расчета режимов сложных систем электроснабжения / Игуменцев В.А., Заславец Б.И., Малафеев А.В., Буланова О.В., Ротанова Ю.Н. // Промышленная энергетика. 2008. №6. С. 16-22.
2. Методические указания по применению неполнофазных режимов

работы основного электрооборудования электроустановок 330-1150 кВ РД 153-34.3-20.670-97 : утв. Департаментом электрических сетей РАО «ЕЭС России» 01.12.97 : введ. в действие с 01.02.99.

3. Малафеев А.В., Игуменцев В.А., Хламова А.В. Алгоритм оптимизации распределения активной мощности между электростанциями промышленного предприятия и узлами связи с энергосистемой с учетом потерь в распределительной сети // Промышленная энергетика. 2011. №9. С. 16-21.

Bibliography

1. Modified method of successive reduction for calculation of electric power supply composite systems modes / Igumenshev V.A. Zaslavets B.I., Malafeev A.V., Bulanova O.V., Rotanova Y.N. // Industrial power engineering. 2008. No 6. P. 16-22.
2. 330-1150 kV electric installation high-voltage equipment single-phase operating conditions application methodical recommendations: РД 153-34.3-20.670-97 : approved by RAO «UES of Russia» power grid department on 01.12.97 : put in operation on 01.02.99.
3. Malafeev A.V., Igumenshev V.A., Khlamova A.V. Active power distribution between industrial power plants and power grid connection junctions algorithm taking into account power losses in distribution system // Industrial power engineering. 2011. No 9. P. 16-21.

УДК 629.14

Казанцев А.Г., Феклистов С.И., Жуков Р.Ю.

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ В ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБКАХ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ В ЗОНАХ ОБРАЗОВАНИЯ ПИТТИНГОВ

С использованием метода конечных элементов выполнен анализ напряженно-деформированного состояния и величины раскрытия трещин-сателлитов в вершине питтинга в теплообменных трубках парогенераторов АЭС для различных режимов эксплуатации.

Исследовано влияние на этот процесс остаточных напряжений. Определены условия возникновения пластических деформаций в вершине питтинга.

Ключевые слова: теплообменная трубка, АЭС, питтинг, метод конечных элементов, пластическая деформация, коррозия.

Using the finite element method is analyzed stress-strain state and the magnitude of the crack opening in the top of the satellite pitting in the heat transfer tubes of nuclear steam generators for various modes of operation, We consider the Renault influence on this process of residual stresses, determine the conditions of plastic deformation in the top of pitting.

The influence on the process of residual stresses was studied. Conditions for the occurrence of plastic deformation in the top of pitting was defined.

Keywords: heat exchange tube, pitting, finite element method, plastic deformation, corrosion.

Теплообменные трубки (ТОТ) парогенераторов АЭС в процессе эксплуатации подвергаются интенсивному коррозионному воздействию среды второго контура. Первоначально на наружной поверхности ТОТ образуются питтинги. С увеличением глубины питтингов в условиях действия внутреннего давления возможно возникновение в их вершине пластических деформаций, приводящих к коррозионному растрескиванию.

В данной работе с использованием метода конечных элементов выполнен анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) и величины раскрытия трещин-сателлитов в вершине питтинга для различных режимов эксплуатации, влияния на этот процесс остаточных напряжений, а также оценка условий возникновения пластических деформаций в вершине питтинга.

Материал трубки – сталь 12Х18Н10Т, наружный диаметр 16 мм, толщина стенки 1.5 мм. Поведение материала описывалось теорией течения с кинематическим упрочнением (предел текучести 220 МПа, модуль упрочнения 2000 МПа). Питтинг радиусом 0.25 мм на наружной поверхности трубки моделировался круго-

вой выточкой различной глубины. Длина трещины-сателлита в его вершине составляла 0.05 мм.

Расчет выполнен для различных последовательностей выхода на мощность: гидроиспытания→холодное состояние→рабочий режим (ГИ → ХС→РР); холодное состояние→рабочий режим→ холодное состояние→ гидроиспытания→холодное состояние→рабочий режим (ХС → РР→ХС→ГИ→ХС→РР).

Расчетная схема соответствовала случаю плоской деформации в ТОТ. В рабочем режиме к трубке прикладывалось внутреннее давление 15.7 МПа, наружное 6.3 МПа. По берегам трещины и к поверхности питтинга прикладывалось наружное давление. При гидроиспытаниях внутреннее давление соответствовало 24.5 МПа.

Сетка конечных восьмиузловых элементов в зоне питтинга с трещиной приведена на рис. 1. На рис. 2, 3 показано распределение интенсивности пластических деформаций у вершины трещины в рабочем режиме (ХС → РР) и при нагружении в последовательности ХС→ ГИ. Результаты расчета раскрытия питтинга и берегов трещины на дне питтинга, а также изменение

относительного радиуса пластической зоны r_p/r_{p0} (r_{p0} – размер пластической зоны для различных последовательностей перехода ХС→РР) приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Результаты расчета величины раскрытия питтинга, трещины-сателлита и размеров пластических зон при нагружении по режиму ХС→ГИ→ХС→РР

Параметр	ХС → ГИ → ХС → РР					
	ХС → ГИ		ГИ → ХС		ХС → РР	
	питтинг	трещина	питтинг	трещина	питтинг	трещина
δ , мм	$1.02 \cdot 10^{-3}$	$0.4 \cdot 10^{-3}$	$1.78 \cdot 10^{-5}$	$1.86 \cdot 10^{-5}$	$0.42 \cdot 10^{-3}$	$1.72 \cdot 10^{-4}$
r_p/r_{p0}	5.4		1.9		0.3	

Приведенные в таблицах размеры зон пластической деформации для полуциклов разгрузок (РР→ХС, ГИ→ХС) соответствуют зонам деформирования, в которых пластическая деформация уменьшалась вследствие изменения направления нагружения на обратное. Для полуциклов активного нагружения (ХС→РР, ХС→ГИ) указанные зоны соответствуют областям, в которых для данного полуцикла происходило накопление односторонних пластических деформаций.

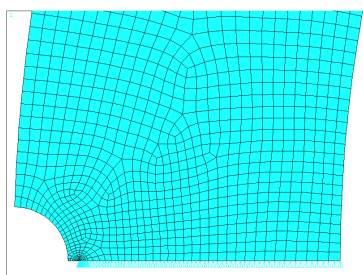


Рис. 1. Сетка конечных элементов в зоне питтинга с трещиной

Результаты расчета величины раскрытия питтинга, трещины-сателлита и размеров пластических зон при нагружении по режиму ХС→РР→ХС→ГИ→ХС→РР

Параметр	ХС → РР → ХС → ГИ → ХС → РР									
	ХС → РР		РР → ХС		ХС → ГИ		ГИ → ХС		ХС → РР	
	питтинг	трещина	питтинг	трещина	питтинг	трещина	питтинг	трещина	питтинг	трещина
δ , мм	$0.4 \cdot 10^{-3}$	$1.54 \cdot 10^{-4}$	$0.96 \cdot 10^{-6}$	$1.44 \cdot 10^{-6}$	$1.02 \cdot 10^{-3}$	$0.4 \cdot 10^{-3}$	$1.78 \cdot 10^{-5}$	$1.86 \cdot 10^{-5}$	$0.42 \cdot 10^{-3}$	$1.72 \cdot 10^{-4}$
r_p/r_{p0}	1		0.3		5.4		1.8		0.3	

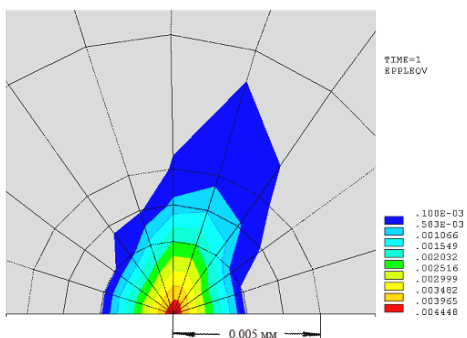


Рис. 2. Распределение интенсивности пластической деформации, рабочий режим (ХС→РР)

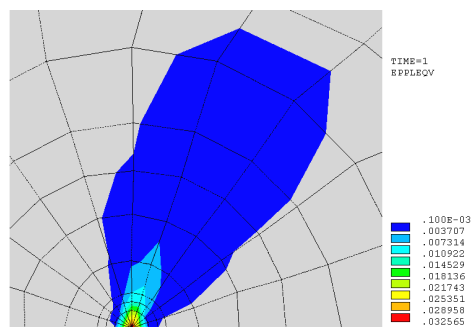


Рис. 3. Распределение интенсивности пластических деформаций в зоне вершины трещины при ГИ (ХС→ГИ)

Из табл. 1, 2 видно, что размер пластической зоны у вершины трещины в режиме ГИ в 5.4 раза больше, чем в рабочем режиме. Величина раскрытия питтинга и берегов трещины при ГИ в 2.5 раза выше, чем в рабочем режиме. Проведение ГИ перед выходом на рабочий режим несколько увеличивает раскрытие питтинга и берегов трещины, однако существенно снижает размер пластической зоны (приблизительно в 3.3 раза).

Из сопоставления данных табл. 1 и 2 следует также, что предыстория нагружения до проведения гидротестирования (см. табл. 2) не повлияла на параметры раскрытия трещины и размер пластической зоны в состоянии РР после ГИ.

На характер НДС в зоне питтинга и протекание коррозионных процессов при его возникновении существенное влияние оказывают величина и знак остаточных напряжений в ТОТ. Для качественной оценки этого эффекта механизм возникновения данных напряжений не имеет существенного значения. В связи с этим, для упрощения было рассмотрено воздействие на НДС сжимающих остаточных напряжений в ТОТ, возникающих при термообработке труб.

Термообработка заключалась в равномерном нагреве трубки (до 1000°C) и последующем интенсивном охлаждении с внешней поверхности в 5% растворе NaCl до 20°C. Для оценки остаточных напряжений сначала решалась нестационарная температурная задача и определялось распределение температур в процессе охлаждения. После этого для различных моментов времени и распределений температур вплоть до полного охлаждения (20°C) решалась серия упругопластических задач и оценивались значения пластических деформаций. Теплофизические свойства принимались по данным [1-2]. Коэффициент теплоотдачи в растворе NaCl $\alpha = 2 \cdot 10^4$ Дж/(м²·с·°C).

Результаты расчета изменения во времени температуры в внутренней (1) и наружной (2) поверхности трубки при охлаждении показано на рис. 4. Распределения напряжений и деформаций по толщине стенки трубки в моменты времени, соответствующие возникновению максимальных пластических деформаций, а также после полного выравнивания температу-

ры и охлаждения до 20°C, приведены на рис. 5, 6. Здесь σ_x, ϵ_{px} – соответственно радиальные компоненты напряжения и пластической деформации; σ_y, ϵ_{py} – тангенциальные; σ_z, ϵ_{pz} – осевые; ϵ_{pi} и σ_i – интенсивность пластических деформаций и напряжений.

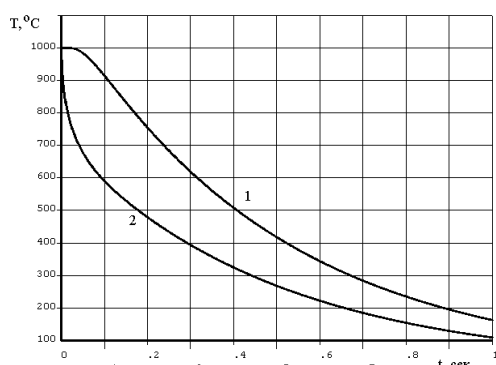


Рис. 4. Изменение во времени температуры на внутренней (1) и наружной (2) поверхности трубки при охлаждении

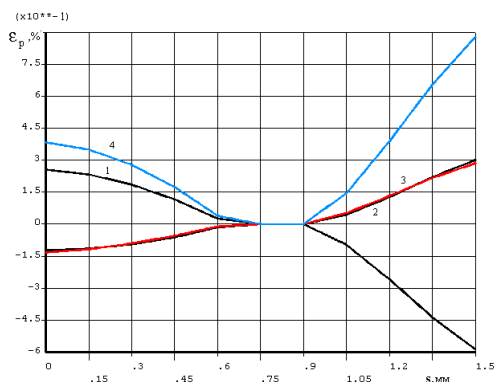


Рис. 5. Распределение пластических деформаций по толщине трубки для $t = 0.1$ с (1 – ϵ_{px} ; 2 – ϵ_{py} ; 3 – ϵ_{pz} ; 4 – ϵ_{pi})

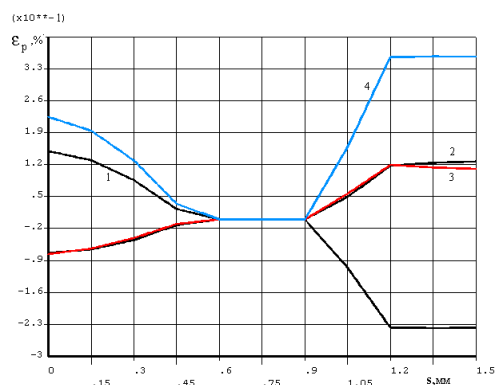


Рис. 6. Распределение остаточных пластических деформаций по толщине трубки при $T = 20^\circ\text{C}$ (1 – ϵ_{px} ; 2 – ϵ_{py} ; 3 – ϵ_{pz} ; 4 – ϵ_{pi})

Как видно из представленных результатов, в рассмотренном случае после полного охлаждения трубки на ее внешней поверхности возникают сжимающие тангенциальные остаточные напряжения σ_y , макси-

мальная величина которых достигает предела текучести. На внутренней поверхности напряжения σ_y растягивающие, их величина несколько ниже, чем на внешней. Переход от сжатия к растяжению происходит на глубине, равной приблизительно 1/3 толщины трубки.

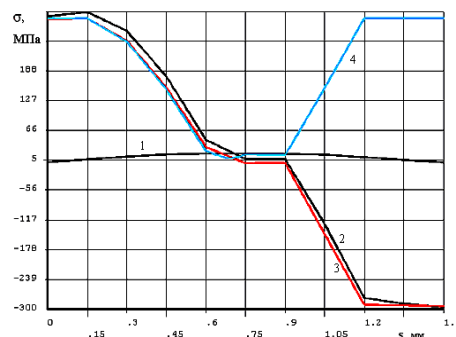


Рис. 7. Распределение остаточных напряжений по толщине трубки при $T = 20^\circ\text{C}$ (1 – σ_x ; 2 – σ_y ; 3 – σ_z ; 4 – σ_i)

Приведенные на рис. 6 результаты качественно согласуются с данными экспериментов [1] по оценке тангенциальных остаточных напряжений во втулках из стали 1X18H9T, подвергавшихся аналогичным режимам нагрева – охлаждения (закалка с 1050°C в воде).

Процесс образования питтинга в ТОТ при наличии полученного поля остаточных напряжений моделировался уменьшением жесткости элементов (до пренебрежимо малой величины) в области выкружки $R=0.25$ мм (см. рис. 1), соответствующей размерам питтинга.

Распределение остаточных напряжений в ТОТ до и после образования питтинга показано на рис. 8-10 (напряжения даны в H/m^2).

Видно, что при возникновении питтинга происходит локальное перераспределение остаточных напряжений, в результате чего сжимающие тангенциальные напряжения у его дна существенно увеличиваются. Одновременно несколько возрастают растягивающие напряжения на внутренней поверхности трубки.

При приложении рабочего давления тангенциальные напряжения у дна питтинга уменьшаются, оставаясь при этом сжимающими (рис. 11, 12). В режиме ГИ тангенциальные напряжения падают практически до нуля (рис. 13, 14).

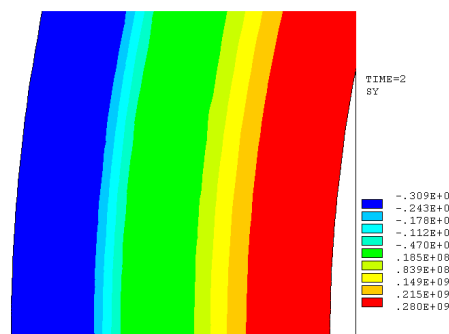


Рис. 8. Распределение остаточных тангенциальных напряжений в ТОТ до возникновения питтинга

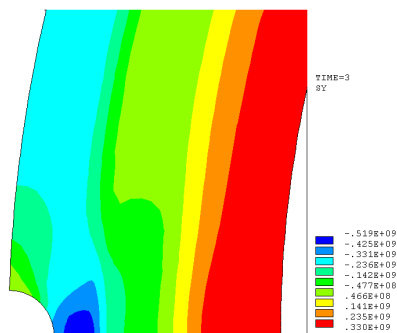


Рис. 9. Распределение остаточных тангенциальных напряжений в TOT в зоне питтинга

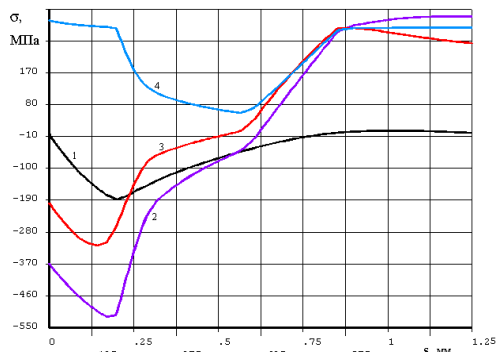


Рис. 10. Распределение остаточных напряжений в TOT в зоне питтинга по толщине трубы (1 – σ_x ; 2 – σ_y ; 3 – σ_z ; 4 – σ_i)

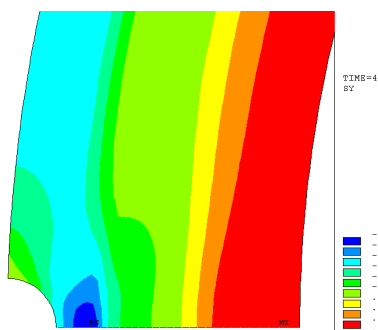


Рис. 11. Распределение тангенциальных напряжений в TOT в зоне питтинга при действии рабочего давления

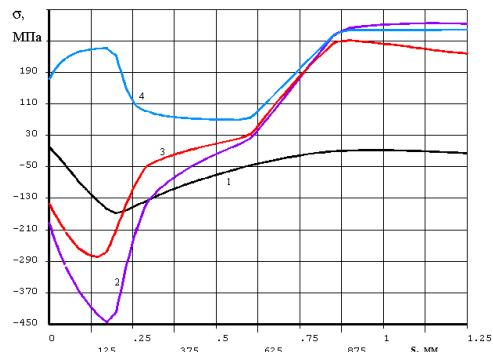


Рис. 12. Распределение напряжений в TOT по толщине трубы в сечении с питтингом при действии рабочего давления (1 – σ_x ; 2 – σ_y ; 3 – σ_z ; 4 – σ_i)

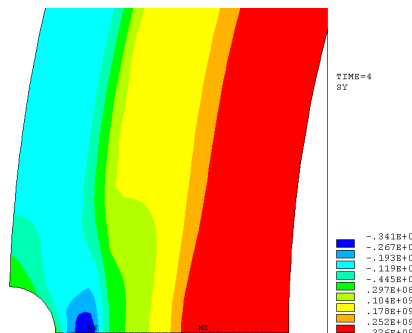


Рис. 13. Распределение тангенциальных напряжений в TOT в зоне питтинга при GI

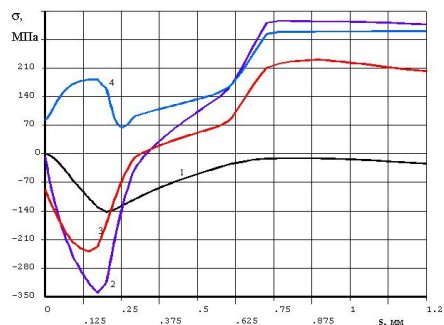


Рис. 14. Распределение напряжений в TOT по толщине трубы в сечении с питтингом при GI (1 – σ_x ; 2 – σ_y ; 3 – σ_z ; 4 – σ_i)

Полученные результаты показывают, что наведение остаточных сжимающих напряжений на наружной поверхности трубы может являться одним из способов снижения возможности возникновения на дне питтинга пластических деформаций и устранения коррозионного растрескивания.

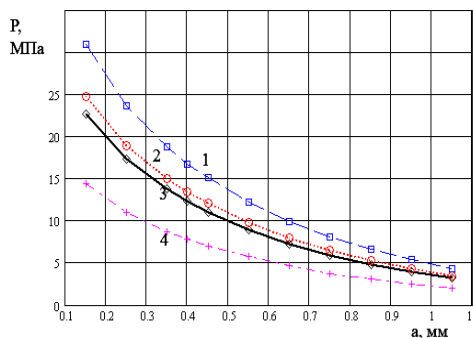


Рис. 15. Зависимость критического давления от глубины питтинга при различных значениях предела текучести материала TOT (1 – $\sigma_T = 300$ МПа; 2 – $\sigma_T = 240$ МПа; 3 – $\sigma_T = 220$ МПа; 4 – $\sigma_T = 140$ МПа)

В связи с тем, что на процесс развития коррозионных повреждений существенное влияние оказывает наличие пластических деформаций, был выполнен расчет величины критического давления, соответствующего появлению пластических деформаций на дне питтинга в зависимости от его глубины. На рис. 15, а показана полученная зависимость критического давления p от глубины питтинга $a = 0.15-1.05$ мм при различных

значениях предела текучести материала ТОТ. Представленные данные получены на основе расчета МКЭ для питтинга радиусом 0.25 мм, глубина которого варьировалась послойным удалением элементов в модели ТОТ.

Из рис. 15 видно, что для рабочего режима ($\Delta p \cong 9$ МПа) глубина питтинга, необходимая для возникновения пластической деформации, составляет около 0.7 мм (при $\sigma_T = 300$ МПа). Однако по данным металлографического анализа переход питтинга в трещину (для которого необходимо наличие пластической зоны) наблюдается при меньшей глубине – 0.2-0.3 мм. Причиной этого может быть, в том числе, наличие у дна питтинга мелких трещинок- сателлитов, которые необходимо учитывать при моделировании питтинга.

Выполненный анализ показал таким образом:

1. Проведение гидроиспытаний теплообменных трубок перед выходом на рабочий режим, при наличии неглубоких трещиноподобных дефектов, оказывает положительное влияние на НДС в вершине трещины, снижая размер пластической зоны (приблизительно в 3.3 раза).

2. Наличие сжимающих напряжений на наружной поверхности теплообменных трубок препятству-

ет возникновению пластических деформаций в зоне питтинга при его образовании, причем при увеличении размеров питтинга по крайней мере до 0.25 мм сжимающие напряжения на дне питтинга увеличиваются.

3. При оценке величины давления, соответствующего возникновению пластических деформаций на дне питтинга, необходимо учитывать возможное наличие у дна питтинга мелких трещинок-сателлитов.

Список литературы

1. Технологические остаточные напряжения / Подзей А.В., Сулима А.М., Евстигнеев М.И., Серебренников Г.З.; под ред. А.В. Подзея. М.: Машиностроение, 1973. С. 216.
2. ПНАЭ Г-7-002-86. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. М.: Энергоатомиздат, 1989. 528 с.
3. Исследования по упрочнению деталей машин / под ред. И.В. Кудрявцева. М.: Машиностроение, 1972. 328 с.

Bibliography

1. Processing of residual stress / Podzey A.V., Sulima A.M., Evstigneev M.I., Serebrennikov G.Z.; Ed. A.V. Podzey., M: Mechanical Engineering, 1973, P. 216.
2. PNAE G-7-002-86. Standards based on the strength of equipment and pipelines of nuclear power plants, M., Energoatomizdat, 1989. 528 p.
3. Studies on the hardening of machine parts. Ed. I.V. Kudryavtsev. Mashinostroenie, 1972, 328 p.

ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И РЫНОК ПРОДУКЦИИ

УДК 338.3:330.133

Поликарпова М.Г.

ОЦЕНКА СТОИМОСТИ БИЗНЕСА В ИНТЕГРАЦИОННЫХ СДЕЛКАХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ КОМПАНИИ

В статье предложен разработанный комплексный метод к оценке стоимости компаний в интеграционных сделках на основе использования доходного, затратного и сравнительного подхода. На основе представленного метода возможно предварительное обоснование целесообразности слияний и поглощений в целях повышения эффективности интеграционной деятельности российских металлургических компаний.

Ключевые слова: интеграция, металлургическая компания, премия за контроль, стоимость бизнеса.

In this article we proposed a complex approach to the evaluation of company cost in the mergers and acquisitions on the basis of integration of profitable, unprofitable and comparative approach. On the basis of the submitted approach it is possible to substantiate preliminary reasonability of the mergers and acquisitions in with purpose to raise effectiveness of integration activities of Russian metallurgical companies.

Keywords: integration, metallurgical company, control premium, the cost of business

Российская металлургия является второй отраслью после топливно-энергетического комплекса по наполнению федерального бюджета и ведущей по внесению вклада в валютные поступления страны. От эффективности работы металлургических компаний во многом зависит социально-экономическое развитие страны в целом. При этом в настоящее время важным фактором повышения эффективности и конкурентоспособности российских металлургических компаний становятся интеграционные процессы.

Интеграция компаний в металлургической промышленности идет не столько по пути слияния производителей одного сектора экономики, сколько по пути создания очень крупных структур, имеющих в своем составе мощные источники сырья и перерабатывающие предприятия, объединенные в цепочки по принципу максимального углубления переработки в целях получения высококорентабельной продукции. Реализация данного процесса происходит в основном на базе создания вертикально-интегрированных структур, в чьих руках оказывается практически вся цепочка – от производства сырья до выпуска конечной продукции [2].

Компании с распыленной по российским меркам собственностью проигрывают интегрированным почти по всем показателям эффективности. В 2010 г. в составе бизнес-групп 28% компаний демонстрировали стабильно растущую конкурентоспособность (это на 8% больше, чем в автономном бизнесе). Одновременно в бизнес-группах существенно меньше доля предприятий с низкой производительностью труда. В 2010 г. на предприятия крупнейших бизнес-групп приходилось до 30% кредитов и займов, полученных реальным сектором российской экономики, что свидетельствует о большей доступности для них заемных средств [5].

Необходимо отметить, что основную роль в формировании российского рынка интеграционных процессов в металлургии в 2010 г. сыграли крупные сделки: на долю 10 из них пришлось более 90% общей суммы сделок. Одной из крупнейших интеграционных сделок 2010–2011 гг. в металлургической промышленности стало приобретение ОАО «Магнито-

горский металлургический комбинат» доли в размере 50% минус одна акция компании ММК-Atakas Metalurji Sanayi ve Liman Isletmeciligi AS (Турция).

Развитие рынка интеграционных процессов требует более серьезной разработки подходов к оценке интеграционных сделок в теории и внесении дополнительных и изменений в существующие стандарты. В ходе проведения исследования было выявлено, что при оценке компаний существует ряд проблем, которые часто возникают на практике и обычно не отмечаются ни в учебной, ни в научной литературе:

- существуют компании, которые трудно поддаются моделированию и оценке из-за специфических проблем с их отчетностью;
- существуют компании, в структуре баланса которых ожидаются существенные изменения, например в результате выкупа собственных акций;
- существуют высокоцикличные компании, при оценке которых сложно определить, какой горизонт экстраполяции следует выбрать для долгосрочной экстраполяции;
- существуют компании с высокой долей нематериальных активов, часто не стоящих на балансе, что осложняет определение действительной доходности капитала;
- существуют быстрорастущие и обычно высокоприбыльные компании, в этом случае главная проблема – определить, какими будут темпы снижения показателей роста и доходности до нормального уровня.

В настоящее время большинство экспертов сходятся во мнении о существовании трех подходов к определению стоимости компании: доходного, затратного и сравнительного [1]. Условия применения различных методов оценки стоимости бизнеса представлены в табл. 1.

При этом динамика цен на сырье в России, как и во всем мире, представляет собой особый вызов сложившейся системе расчета цен на продукцию металлургических предприятий. В сложившихся условиях одна из крупнейших российских металлургических

компаний объявила о покупке одной из угольных компаний, расположенной в Кемеровской области и включенной в 2008 г. в правительственный список стратегически важных компаний России. Это должно позволить создать высокоэффективную вертикально-интегрированную структуру и привести к росту стоимости металлургической компании.

Таблица 1

Условия применения различных методов оценки стоимости бизнеса

Подходы к оценке бизнеса	Методы, используемые при оценке бизнеса	Условия применения методов оценки бизнеса
Доходный подход	Метод капитализации	Применяем к тем компаниям, которые успели накопить активы в предыдущие периоды, т.е. этот метод подходит для оценки «зрелых» по своему возрасту предприятий
	Метод дисконтированных денежных потоков	Ориентирован на оценку действующего предприятия, а также такого, которое и дальше будет функционировать. Успешно применяется для оценки предприятий, имеющих перспективный продукт и обладающих явными конкурентными преимуществами
Затратный подход	Метод чистых активов	Применяем для случая, когда инвестор намеревается закрыть предприятие, либо существенно сократить объем выпуска продукции
	Метод ликвидационной стоимости	Оценка ликвидационной стоимости предприятия осуществляется, если компания находится в состоянии банкротства или существуют серьезные сомнения относительно ее способности оставаться действующим предприятием, а также в случае, когда стоимость компании при ликвидации может быть выше, чем при продолжении деятельности
Сравнительный (рыночный) подход	Метод рынка капитала	Ориентирован на оценку действующего предприятия, а также предприятия, которое будет и дальше функционировать.
	Метод отраслевых коэффициентов	Пригоден при условии строго выбора компании-аналога, которая должна относиться к тому же типу, что и оцениваемое предприятие
	Метод сделок	Применяем для случая, когда инвестор намеревается закрыть предприятие, либо существенно сократить объем выпуска продукции. Пригоден при условии строго выбора компании-аналога, которая должна относиться к тому же типу, что и оцениваемое предприятие

Определение стоимости угольной компании методом дисконтированных денежных потоков основано на предположении, что металлургическая компания не заплатит за данный бизнес сумму, большую, чем текущая стоимость будущих доходов от этого бизнеса. Математически модель оценки стоимости компании методом дисконтированных денежных потоков можно представить в виде

$$V^{DCF} = \sum_{i=1}^n \frac{FCFF_i}{(1+r^{CAPM})^{i-0,5}} + \frac{TV}{(1+r^{CAPM})^n} - D, \quad (1)$$

где $FCFF_i$ – чистый денежный поток на капитал i -го года; r^{CAPM} – ставка дисконтирования, определенная на основе модели оценки капитальных активов; TV – терминальная стоимость; D – чистый долг компании.

Модель оценки капитальных активов основана на анализе массивов информации фондового рынка. Ставка дисконтирования согласно модели CAPM (Capital Asset Pricing Model) определяется следующим образом:

$$r^{CAPM} = r_f + \beta(r_m - r_f), \quad (2)$$

где r_f – норма дохода по безрисковым вложениям; β – коэффициент бэта, являющийся мерой систематического (рыночного) риска, связанного с макроэкономическими и политическими процессами; r_m – среднерыночная норма доходности.

При оценке стоимости угольной компании, безрисковая ставка r_f определялась на уровне доходности облигаций федерального займа РФ (эмитент – Министерство финансов РФ, генеральный агент по обслуживанию выпуска – Центральный Банк РФ). Тогда, исходя из средней доходности ОФЗ за 2009 г., норма дохода по безрисковым вложениям будет равна $r_f = 10,11\%$.

Среднерыночная норма доходности r_m определяется исходя из величины доходов на рынке ценных бумаг по отрасли, к которой принадлежит оцениваемая компания. Так как из всех угольных компаний РФ акции ОАО «Угольная компания «Южный Кузбасс» наиболее долго котируются на фондовой бирже (на РТС с 2003 г.), за среднерыночную норму доходности r_m была взята доходность обыкновенных акций ОАО «Угольная компания «Южный Кузбасс» за 2009 г. Таким образом, $r_m = 16,72\%$.

Коэффициент бэта β , являющийся мерой систематического (рыночного) риска по угольным компаниям на развивающихся рынках (включая Россию), равен $\beta = 0,37$. Тогда на основе выражения (2) было получено: $r^{CAPM} = 10,11 + 0,37(16,72 - 10,11) = 12,56\%$.

Для оценки угольной компании методом DCF в качестве модели денежного потока была выбрана модель денежного потока для собственного капитала. При этом при эффективном управлении предприятием срок его жизни стремится к бесконечности. Чтобы учесть доходы, которые может принести бизнес за пределами периода прогнозирования, определяется терминальная стоимость проекта.

В представленной работе для расчета стоимости компании в постпрогнозный период была выбрана

модель Гордона, в соответствии с которой определение стоимости бизнеса осуществляется капитализацией дохода первого постпрогнозного года по ставке капитализации, учитывающей долгосрочные темпы роста денежного потока. Тогда терминальная стоимость определяется в соответствии с выражением

$$TV = \frac{FCFF_{(n+1)}}{r_{CAPM} - \xi}, \quad (3)$$

где $FCFF_{(n+1)}$ – чистый денежный поток на капитал в постпрогнозный период; ξ – долгосрочные (условно постоянные) темпы роста денежного потока в остаточном периоде.

Чистый денежный поток на капитал в постпрогнозный период равен 194,67 млн долл. В соответствии с конъюнктурой рынка коксующихся углей, экспертами дирекции по экономике металлургической компании долгосрочные темпы роста денежного потока в остаточном периоде были определены на уровне $\xi=0,5\%$. Значит, терминальная стоимость равна

$$TV = \frac{194,67}{0,1256 - 0,005} = 1614,19 \text{ млн долл.}$$

Чистый долг угольной компании на 1 января 2009 г. составлял $D=526$ млн долл. Тогда стоимость угольной компании согласно методу дисконтированных денежных потоков составила:

$$V^{DCF} = 822,86 + (1614,19 \cdot 0,2025) - 526 \approx 623,65 \text{ млн долл.}$$

Затратный подход основывается на принципе замещения: компания стоит не больше, чем составили бы затраты на замещение всех его составных частей [3]. Базовая формула затратного подхода выглядит следующим образом:

$$\text{Стоимость компании} = \text{Активы} - \text{Обязательства.}$$

Метод чистых активов в рамках затратного подхода основан на корректировке баланса в связи с тем, что балансовая стоимость активов и обязательств компании не всегда соответствует их реальной стоимости. В рамках оценки бизнеса при использовании метода чистых активов (приказ Минфина России и Федеральной комиссии по рынку ценных бумаг от 29 января 2003 г. №10н, №03/пз «Об утверждении порядка оценки стоимости чистых активов акционерных обществ») традиционный баланс предприятия заменяется скорректированным балансом, в котором все активы и обязательства показаны по рыночной или какой-либо другой подходящей текущей стоимости. Тогда стоимость угольной компании согласно методу чистых активов составила $V^{NA} \approx 227,45$ млн долл.

Сравнительный подход – это совокупность методов оценки стоимости компании, основанный на сравнении объекта оценки с его аналогами, в отношении которых имеется информация о ценах. В России для оценки компаний обычно используются два мето-

да сравнительного подхода: рынок капитала и сделок. Метод сделок основан на прямом сравнении оцениваемого предприятия с аналогичными, в отношении которых известна цена контрольного пакета или компании в целом.

Применение оценочных мультипликаторов в рамках метода сделок базируется на предположении, что похожие компании имеют достаточно близкое соотношение между ценой и важнейшими финансовыми показателями. Таким образом, цена предприятия может быть определена произведением финансового показателя на соответствующий мультипликатор.

При относительно небольшой выборке компаний-аналогов возникает проблема – погрешность статистических расчетов. При этом при определении какого-либо мультипликатора по его выборочным значениям (по отдельным компаниям-аналогам) можно предположить, что эти значения распределены нормально.

Тогда, при определении необходимого количества компаний-аналогов n , для того чтобы с заданной вероятностью α значение мультипликатора M лежало в определенном интервале $(\mu(M_i) - \beta\mu(M_i), \mu(M_i) + \beta\mu(M_i))$, была решена задача о нахождении центра нормального распределения при известной дисперсии. Таким образом, при отношении дисперсии к математическому ожиданию, равном 0,15, и вероятности $\alpha=95\%$ попадания в интервал $\mu(M_i) \pm 13\%$, объем выборки компаний-аналогов должен быть равен 5.

В поиске компаний-аналогов ключевым моментом является нахождение информации о сделках с пакетами акций. Поскольку информация о слияниях и поглощениях без участия государства является закрытой, данные о продаже крупных пакетов акций, как правило, связаны с проводившимися государством приватизационными аукционами [4]. Информация о потенциальных компаниях-аналогах для рассматриваемой угольной компании представлена в табл. 2.

Таблица 2

Информация об аукционах по продаже пакетов акций угольных компаний за 2008-2009 гг.

Наименование компании	Год проведения аукциона	Пакет акций, %	Продажная цена пакета (млн руб.)	Расчетная стоимость 100% пакета (млн долл.)
1. Южный Кузбасс	2008	26%	55,14	7,07
2. Кузбассразрезуголь	2008	26%	166,51	21,35
3. Красноярская угольная компания	2009	76%	339,41	14,89
4. Междуреченская угольная компания	2009	100%	120,13	4,00
5. Хакасуголь	2009	39%	23,43	2,00

Несмотря на то, что многими исследователями мультипликаторы, рассчитанные по прибыли, считаются наилучшими по точности получаемых оценок, от них авторам исследования пришлось отказаться в первую очередь. Это связано с тем, что в современных условиях российские компании стараются всячески завышать себестоимость производимой ими продукции с целью минимизации налога на прибыль.

Использование мультипликатора по балансовой стоимости собственного капитала в расчете стоимости угольной компании также представляется нецелесообразным, поскольку балансовая стоимость российских предприятий чаще всего слишком значительно отклоняется от своей рыночной стоимости. Мультипликатор «цена компании – дивиденды» применим только к выплачивающим дивиденды компаниям. Кроме того, стоимость компании, полученная на основе этого мультипликатора, зависит от определяемого самой компанией соотношения дивидендные выплаты – чистая прибыль, которое обычно существенно различается даже для компаний, принадлежащих к одной и той же отрасли и имеющих сопоставимые размеры.

Таким образом, из широко используемых мультипликаторов можно выделить соотношение «цена компании – выручка». Показатели выручки подвержены наименьшему искажению среди всех финансовых показателей российских компаний, однако данный мультипликатор также должен использоваться с большой осторожностью, так как при разном соотношении собственного и заемного капитала его применение может привести к значительным искажениям. Поскольку при отборе компаний-аналогов соотношение собственного и заемного капитала принималось в качестве критерия сопоставимости компаний, данный мультипликатор был выбран для исследования.

Поскольку угольная компания является компанией сырьевого сектора, для её оценки также были использованы мультипликаторы, основанные на характеристиках запасов ресурсов:

- цена компании – добыча угля;
- цена компании – разведанные запасы угля.

Рассчитанные значения мультипликаторов представлены в табл. 3. При этом при расчете мультипликаторов финансовые и натуральные показатели брались за последний отчетный год.

Таблица 3

Значения мультипликаторов по компаниям-аналогам для оценки стоимости бизнеса угольной компании

Наименование компании	Мультипликаторы		
	цена компании – выручка	цена компании – добыча	цена компании – разведанные запасы угля
1. Южный Кузбасс	0,87	0,73	4,26
2. Кузбассразрезуголь	0,93	0,80	4,81
3. Красноярская угольная компания	0,95	0,63	4,78
4. Междуреченская угольная компания	0,73	0,74	5,55
5. Хакасуголь	0,78	0,80	4,57
Среднее значение:	0,85	0,74	4,79

На основе полученных значений мультипликаторов была рассчитана цена угольной компании (табл. 4).

Таблица 4

Расчет стоимости угольной компании с использованием мультипликаторов

Показатель деятельности угольной компании, млн долл.		Значение мультипликатора		Средняя цена угольной компании, млн долл.
Валовые доходы	501,03	Цена компании – выручка	0,85	
Добыча угля	610,70	Цена компании – добыча	0,74	451,92
Разведанные запасы угля	106,80	Цена компании – разведанные запасы угля	4,79	511,57

Использование различных мультипликаторов дает различные варианты стоимости компании. Так, средняя цена угольной компании с использованием мультипликатора «цена компании – выручка» составила 425,88 млн долл.; с использованием мультипликатора «цена компании – добыча угля» – 451,92 млн долл.; с использованием мультипликатора «цена компании – разведанные запасы угля» – 511,57 млн долл. Выбор окончательного результата основан на придании процентного веса каждому варианту стоимости. Предполагая, что все три мультипликатора равнозначны по важности, получаем, что стоимость угольной компании составляет $V^T \approx 463,12$ млн долл.

В табл. 5 представлена рассчитанная стоимость угольной компании согласно доходному подходу (метод дисконтированных денежных потоков), затратному подходу (метод чистых активов) и сравнительному подходу (метод сделок).

Таблица 5

Стоимость угольной компании, полученная на основе различных методов

Метод	Стоимость компании
1. Метод DCF	$V^{DCF} \approx 623,65$ млн долл.
2. Метод чистых активов	$V^{NA} \approx 227,45$ млн долл.
3. Метод сделок	$V^T \approx 463,12$ млн долл.

На основе табл. 5 можно видеть, что максимальная оценка стоимости компании получена на основе метода дисконтированных денежных потоков ($V^{DCF} \approx 623,65$ млн долл.), а минимальная оценка – на основе метода чистых активов ($V^{NA} \approx 227,45$ млн долл.).

На рис. 1 представлена модель интегральной оценки стоимости бизнеса в интеграционных сделках.

При этом для получения интегральной оценки стоимости бизнеса необходимо определить весовой коэффициент для каждой из оценок стоимости оцениваемой

компании. Для этого предлагается расположить все оценки по порядку убывания их значимости и определить значимость i -й оценки по правилу Фишберна.



Рис. 1. Модель интегральной оценки стоимости бизнеса в интеграционных сделках

Рассмотрим порядок построения весов Фишберна. Системе убывающего предпочтения n альтернатив наилучшим образом отвечает система снижающихся по правилу арифметической прогрессии весов:

$$p_i = \frac{2(n-i+1)}{(n+1)n}, i = \overline{1, n}, \quad (4)$$

а система безразличных друг другу альтернатив – набор равных весов:

$$p_i = n^{-1}, i = \overline{1, n} \quad (5)$$

Чтобы определить набор весов Фишберна для смешанной системы предпочтений, когда, наряду с предпочтениями, в систему входят отношения безразличия, необходимо определять числители r_i рациональных дробей по рекурсивной схеме:

$$r_{i-1} = \begin{cases} r_i, F_{i-1} \approx F_i \\ r_i + 1, F_{i-1} > F_i \end{cases}, r_n = 1, i = n \dots 2 \quad (6)$$

Тогда сумма полученных числителей и есть общий знаменатель дробей Фишберна $K = \sum_{i=1}^n r_i$ и:

$$p_i = \frac{r_i}{K} \quad (7)$$

На основе соображений общепринятой оценочной практики и с практическим опытом оценщиков бизнеса Международной академии оценки и консалтинга и комитета по оценочной деятельности Торгово-промышленной палаты РФ:

$$V^{DCF} > V^T > V^{NA}$$

Тогда система весов Фишберна для получения интегральной оценки стоимости бизнеса угольной компании примет следующий вид: $p_1 = \frac{1}{2}$; $p_2 = \frac{1}{6}$; $p_3 = \frac{1}{3}$. Значит, интегральная оценка стоимости угольной компа-

нии $V_{инт.} = 504,11$ млн. долл.

В соответствии с традиционной моделью трех уровней стоимости бизнеса (уровень контроля, уровень ликвидных миноритарных пакетов акций и уровень неликвидных миноритарных пакетов акций), представленной на рис. 2, при приобретении контрольного пакета акций угольной компании дополнительно возникает премия за контроль.

Как и во многих областях оценки бизнеса в России, эмпирические данные, на основе которых возможно рассчитать размер премии за контроль, во многих случаях закрыты и недоступны.

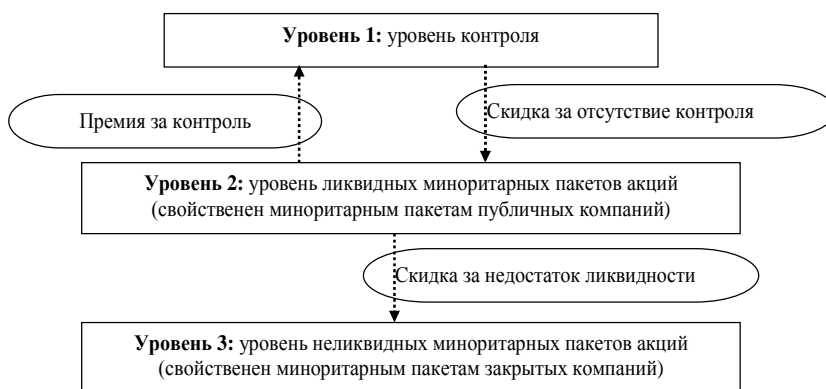


Рис. 2. Традиционная модель трех уровней стоимости бизнеса

Поэтому в качестве оценки премии за контроль были взяты данные, представленные в Mergerstat Review, в соответствии с которыми премия за приобретение контрольного пакета акций публичных компаний в США в 2005-2008 гг. в среднем колебалась от 33 до 40% [6].

Значит, итоговая интегральная оценка стоимости угольной компании в среднем колеблется от 670,47 до 705,75 млн долл.

Таким образом, использование интегрированного подхода в процессе оценки стоимости приобретаемой компании дает комплексную оценку стоимости бизнеса, формирует предварительное обоснование целесообразности интеграции и служит базой для качественной и надежной оценки интеграционной сделки, позволяющей принять взвешенное инвестиционное решение металлургической компанией.

Список литературы

1. Оценка бизнеса: учебник / под ред. Грязновой А.Г., Федотовой М.А. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Финансы и статистика, 2009. 240 с.
2. Поликарпова М.Г. Интеграционные процессы в современной экономике Российской Федерации // Вестник экономической интеграции. 2009. №9-10. С. 24-30.
3. Попков В.П., Евстафьева Е.В. Оценка бизнеса. Схемы и таблицы: учеб. пособие. СПб.: Питер, 2007. 736 с.
4. www.deloitte.com
5. www.ma-journal.ru
6. www.vedomosti.ru

Bibliography

1. Business Valuation: textbook / ed. Gryaznova A.G., Fedotov M.A. 2nd ed., Rev. and add. Moscow: Finance and Statistics, 2009. 240 p.
2. Polikarpova M.G. Integration processes in the modern economy of Russian Federation // Herald of economic integration. 2009. №9–10. P. 24-30.
3. Popkov V.P., Evstafieva E.V. Evaluation of business. Charts and tables: textbook. SPb.: Peter, 2007. 736 p.
4. www.deloitte.com
5. www.ma-journal.ru
6. www.vedomosti.ru

УДК 331.2:622.27

Калимуллин Е.А., Акшенцев Ф.И., Макарова В.А., Трильев А.Е.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОПЛАТЫ ТРУДА ПРОХОДЧИКОВ НА СИБАЙСКОМ ПОДЗЕМНОМ РУДНИКЕ

Приведен опыт совершенствования существующей системы оплаты труда проходчиков, машинистов буровых установок подземного участка очистных и горнопроходческих работ на Сибайском подземном руднике.

Ключевые слова: совершенствование, оплата труда, производительность, система учета «светофор».

The experience of improving the wage system of sinkers, machinists drilling rigs at the underground site of a treatment and mining operations in the underground mine of Sibay.

Keywords: improvement, remuneration of labor, efficiency, accounting system «traffic light».

По итогам семинара, проходившего в период 15-16 февраля 2012 г. на Сибайском подземном руднике (СПР) на тему «Повышение производительности труда», было принято решение о необходимости совершенствования существующей системы оплаты труда проходчиков, машинистов буровых установок, а также руководителей и специалистов производственных участков. В семинаре приняло участие 27 человек, в том числе рабочие, руководители участков, специалисты по организации труда, руководители рудника, управление комбината.

Выполненный SWOT-анализ показал наличие существенных недостатков и угроз в существующей системе оплаты труда и их преобладание над достоинствами и возможностями (табл. 1) [1]. Одним из главных недостатков, по мнению руководителей и специалистов предприятия, является отсутствие тесной связи между результатами труда работника и его заработной платой.

Таблица 1

SWOT-анализ существующей системы оплаты труда на СПР

Достоинства	Недостатки
1. Сохранение постоянной части заработной платы. 2. Снижение размера премии за уменьшение производительности труда. 3. Снижение премии за нарушения производственной и трудовой дисциплины	1. Невозможность самостоятельного оперативного расчета заработной платы проходчиком. 2. Отсутствие тесной взаимосвязи между результатами труда работника и его заработной платы. 3. Высокая доля тарифной части в заработной плате, не мотивирующая к повышению результатов. 4. Бригадная организация труда не позволяет оценить личный вклад каждого в общий результат
Возможность	Угрозы
Получение дополнительной части премии за результаты труда	1. Возможность достаточно высокой заработной платы без прямой привязки к конкретному результату. 2. Усреднение заработной платы

Экспериментальное положение по оплате труда разработано на основе ведущейся с марта 2011 г. системы учета производственных результатов «светофор» и регламентирует условия и порядок оплаты труда проходчиков, работающих на буровой установке «Mopomatic» №46 подземного участка очистных и горнопроходческих работ № 1 (ПУОиГПР № 1).

Согласно положению оплата труда рабочих состоит из двух частей:

- постоянная (тарифная) часть включает в себя тариф, доплату за работу в ночное время, праздничные, компенсационную выплату за работу с вредными или опасными условиями труда, доплату за нормативное время передвижения в шахте;
- переменная часть начисляется в зависимости от результатов, достигнутых проходчиком за месяц.

Оплата переменной части производится на основании выполненных работ за смену (количество пробуренных шпуров на уход, количество пробуренных шпуров под железобетонные штанги (ЖБШ) и самозакрепляющиеся анкера (СЗА), количество установленных СЗА, шт.), зафиксированных в системе учета «светофор», и определяемого делением общего объема выполненных работ проходчиком за месяц на количество отработанных им смен. С использованием полученного значения определяется диапазон, в который попадает результат выполненных работ и соответствующий ему сектор в системе учета «светофор» (табл. 2).

Таблица 2

Шкала, определяющая сектор в системе учета «светофор»

Сектора	Для 7 - часовой смены
Красный	до 45
Желтый	от 46 до 65
Зелёный	свыше 66

Примечание. 45, 65... – общее количество пробуренных проходчиком шпуров и установленных СЗА, шт.

Расчет постоянной и переменной части производится в соответствии с данными, представленными в табл. 3.

Таблица 3

Определение расценки по итогам работы за месяц

Красный сектор	Жёлтый сектор	Зелёный сектор
Расценка, 4 руб./шт.	Расценка, 10 руб./шт.	Расценка, 12 руб./шт.
Постоянная (тарифная часть) рассчитывается по присвоенному разряду		Постоянная (тарифная часть) рассчитывается по 6-му разряду

Величина переменной части корректируется с помощью следующих коэффициентов:

- коррекционный коэффициент $K_{корр}$ – рассчитывается на основании данных маркшейдерских замеров и данных, заявленных проходчиками в системе учета «светофор»;
- коэффициент перерасхода бурового инструмента $K_{пер}$ – вводится для обеспечения рационального использования вспомогательного и бурового инструмента.

Расчет заработной платы проходчика с использованием системы «светофор» производится в следующей последовательности:

1. На основании данных маркшейдерских замеров рассчитывается общий объем выполненных работ:

$$\sum_{\text{марк.}} = V_{\text{уход}} + V_{\text{бурен}} + V_{\text{установ}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{уход}}$ – количество пробуренных шпуров на уход, шт.; $V_{\text{бурен}}$ – количество пробуренных шпуров под ЖБШ, СЗА, шт.; $V_{\text{установ}}$ – количество установленных СЗА, шт.

2. Количество пробуренных шпуров на уход рассчитывается по формуле

$$V_{\text{уход}} = \frac{N_{\text{факт}}}{2,8} \cdot 54 \quad (2)$$

где $N_{\text{п.м}}^{\text{факт}}$ – результаты работы буровой установки по итогам месяца (маркшейдерские замеры), п.м; 2,8 – средняя уходка за цикл, п.м; 54 – среднее количество шпуров на забой, шт. (паспорт БВР).

3. Рассчитывается коррекционный коэффициент:

$$K_{\text{корр}} = \frac{\sum_{\text{марк}}}{\sum_{\text{заяв}}}, \quad (3)$$

где $\sum_{\text{марк}}$ – объем выполненных работ на основании маркшейдерских замеров, шт. (см. ф-лу (1)); $\sum_{\text{заяв}}$ – количество заявленных проходчиком пробуренных шпуров на уход и под ЖБШ, установленных СЗА, шт. (данные по системе «светофор»).

4. Рассчитывается заработная плата проходчика за месяц:

$$ЗП = ((ТЧ) + (n \cdot Z) \cdot K_{\text{корр}} \cdot K_{\text{пер}}) \cdot K_p, \quad (4)$$

где ТЧ – тарифная (постоянная) часть за отработанное время, руб.; n – количество пробуренных шпуров или установленных СЗА за месяц, шт. (данные по системе учета «светофор»); Z – расценка за один пробуренный шпур или установленный СЗА (см. табл. 2), руб./шт.; $K_{\text{пер}}$ – коэффициент перерасхода; при перерасходе бурового инструмента устанавливается равным 0,85, при отсутствии перерасхода – 1; K_p – районный коэффициент (показатель увеличения размера заработной платы в зависимости от месторасположения предприятия), установлен равным 1,15 [2].

Расчет заработной платы, начиная с мая 2012 г., производится в двух вариантах – по экспериментальному и существующему положением. Выплата производится по системе, утвержденной коллективным письменным решением проходчиков, работающих в течение месяца на буровой установке «Monomatic» №46.

Расчет заработной платы бригады проходчиков за май 2012 г. по существующему и экспериментальному положению об оплате труда представлен в табл. 4.

Из таблицы видно, что по существующему и экспериментальному положению разница между максимальным и минимальным значением в оплате труда составляет 1,2 и 2,2 раза соответственно. При этом производительность проходчиков отличается в 2,3 раза. Величина переменной части (надбавки) Проходчика 1 по экспериментальному положению возросла в 1,6 раза в соответствии с объемом выполненных работ, а у Проходчика 2 снизилась в 4,4 раза. При этом фонды оплаты труда по бригаде по существующей и предлагаемой системе оплаты сопоставимы.

Таким образом, экспериментальное положение по оплате позволяет более тесно увязать оплату труда с результатами, достигнутыми работниками в течение месяца, в оперативном режиме оценить индивидуальный вклад работников в достижения требуемой производительности, прогнозировать и самостоятельно рассчитывать заработную плату проходчику.

Таблица 4

Пример расчета заработной платы, руб.

ФИО проходчика	Существующее положение по оплате труда				Экспериментальное положение по оплате труда				
	Постоянная часть	Премия	Кол-во п.м по бригаде	Кол-во установленных СЗА, шт.	Всего ЗП (с район. коэф.)	Постоянная часть	Кол-во шпуров и СЗА, шт. (n)	Надбавка (n*Z)	Всего ЗП (с рег. коэф.)
Проходчик 1	15 163	13 033	80,5	1533	34 904	16 950	1 705	20460	43 021
Проходчик 2	14 342	13 231			31 776	14 342	747	2 988	19 930
Проходчик 3	14 982	12 028			33 206	14 982	1 326	13 260	32 478
Проходчик 4	13 219	15 433			29 095	13 219	1 082	10 820	27 644
Итого по бригаде					128 981				123 073

Список литературы

Bibliography

1. Система учета «светофор» как элемент улучшения организации труда / З.Р. Гибадуллин, Ф.Х. Макшук, В.А. Макарова, М.Н. Сабанова // Кадровик. 2011. №8. С. 148-151.
2. Борисов А.Б. Большой экономический словарь. М.: Книжный мир, 2003. 895 с.

1. Accounting system «traffic light» as element of improvement of the organization work / Z.R. Gibadullin, F.H. Makshukov, V.A. Makarova, M.N. Sabanova // Kadrovik. 2011. №8. P. 148-151.
2. Borisov A.B. Big economic dictionary. // M.: Book world, 2003. 895 p.

УДК 339.1

Кольга А.А.

РЫНОК ГЛЯНЦЕВЫХ ИЗДАНИЙ ЕКАТЕРИНБУРГА: СПЕЦИФИКА СПРОСА И НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

В работе приведены результаты анализа спроса со стороны рекламодателей в сегменте гляцевых и деловых изданий Екатеринбурга, обозначена актуальная проблема снижения доходов от продажи рекламных площадей региональных гляцевых журналов, обусловленная оттоком традиционных рекламодателей сегмента fashion. Предложен вариант решения обозначенной проблемы за счет изменения в стратегии позиционирования гляцевых изданий и ориентации на новые сферы рекламодателей.

Ключевые слова: позиционирование, целевая аудитория, fashion-индустрия.

This article provides the results of analyzing advertisers demand in the segment of Yekaterinburg's glossy and business magazines. It identifies the problem of regional glossy magazines' revenue decrease which is caused by reduced number of fashion advertisers. The author suggests solving this problem through revising the positioning strategy for glossy magazines and focusing on new field advertisers.

Keywords: positioning, target audience, fashion industry.

Российский рынок средств массовой информации сегодня продолжает активно развиваться. В региональных масштабах увеличивается число специализированных гляцевых изданий, что существенно усиливает конкуренцию в данной сфере. Стремясь повысить экономическую эффективность своих журналов, издатели уделяют серьезное внимание укреплению позиции марки или, иными словами, формированию образа журнала в сознании потребителей. Позиционирование как процесс поиска такой рыночной позиции для компании, которая будет выгодно отличать ее от положения конкурентов, осуществляется с учетом конкретной целевой группы потребителей, для которой создаются и предлагаются преимущества и уникальность [1]. В настоящее время проблема позиционирования печатных изданий является весьма актуальной.

Основная особенность печатных изданий, в частности гляцевых журналов, заключается в том, что они ориентируются на две целевые аудитории одновременно. Первая – это аудитория рекламодателей, покупающих рекламные площади в журнале для продвижения своей продукции или услуг; вторая – читательская аудитория, состоящая из людей, интересующихся тематикой того или иного издания. Можно отметить следующую взаимосвязь: читатели журналов являются потенциальными потребителями продукции (услуг) рекламодателей.

Поскольку региональные издания, в отличие от федеральных и мировых гляцевых изданий, существуют, как правило, за счет рекламы, не предполагая непосредственной продажи потребителю, то наиболее остро перед местными журналами стоят задачи эффективного взаимодействия с существующими рекламодателями и поиск новых.

Наблюдается некоторый отток традиционных рекламодателей, непосредственно относящихся к fashion-

индустрии, что отражается в снижении доходов от рекламы. Данную тенденцию отмечают сами издатели, называя одним из основных факторов нестабильность экономики и предкризисные ожидания, охватывающие все большие слои населения. В этих условиях основной задачей издателей является поиск новых сегментов рекламодателей, что непременно влечет за собой актуализацию стратегии позиционирования с учетом предпочтений новой целевой аудитории. Рассмотрим екатеринбургский рынок региональных журналов.

Екатеринбург входит в первую тройку региональных центров России по количеству журналов и объему журнального рынка. Ежегодный прирост рынка прессы Екатеринбурга в части рекламных доходов, начиная с 2005 года, составляет 50-55%. Рост идет как за счет увеличения доходов существующих СМИ, так и за счет появления новых изданий, точнее тех из них, которые можно назвать удачными бизнес-проектами [2].

Если рассматривать гляцевые журналы, специализирующиеся на модных тенденциях, можно выделить девять основных игроков данного рынка: «Cosmopolitan. Урал», «Гид по красоте и здоровью BLIZKO», «Банзай», «Shopping Guide. Я покупаю», «Стольник», «Нарру», «Екб.Собака.RU», «Fashion Week», «Дорогое удовольствие». На рис. 1 показаны доли рынка каждого из этих изданий по годовому объему выпуска номеров.

На приведенной диаграмме видно, что максимальный объем приходится на долю журнала «Cosmopolitan. Урал», который, являясь по сути региональным, выпускается приложением к федеральному изданию «Cosmopolitan» и распространяется вместе с ним. Остальные же издания можно назвать исключительно региональными. Доли последних различаются не так существенно.

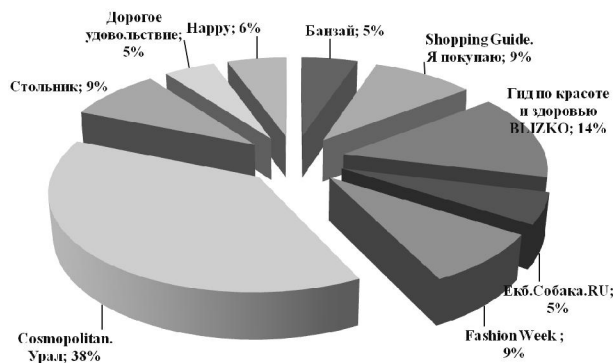


Рис. 1. Доли рынка глянцевого издания Екатеринбурга (по годовому объему выпуска номеров), %

Для оценки конкуренции в секторе глянцевых изданий был проведен анализ привлекательности отдельных изданий с позиции потенциальных рекламодателей. Анализ проводился по двум основным критериям: стоимость размещения рекламных материалов и позиция в рейтинге, формируемом порталом «Реклама-онлайн»¹ [3].

Результаты проведенного анализа можно проиллюстрировать с помощью лепестковой диаграммы, представленной на рис. 2.

Данная диаграмма показывает, какие журналы более привлекательны для рекламодателей и, соответственно, более конкурентоспособны. Очевидно, что журнал «Банзай» лидирует в рейтинге и предлагает приемлемую стоимость размещения. Интересны также позиции журналов «Стольник» и «Гид по красоте и здоровью»: несмотря на относительно невысокие показатели рейтинга, данные издания существенно опережают своих конкурентов по ценовой привлекательности. В наиболее невыгодном положении находится журнал «Нарру», демонстрирующий самый низкий рейтинг при самой высокой стоимости размещения.

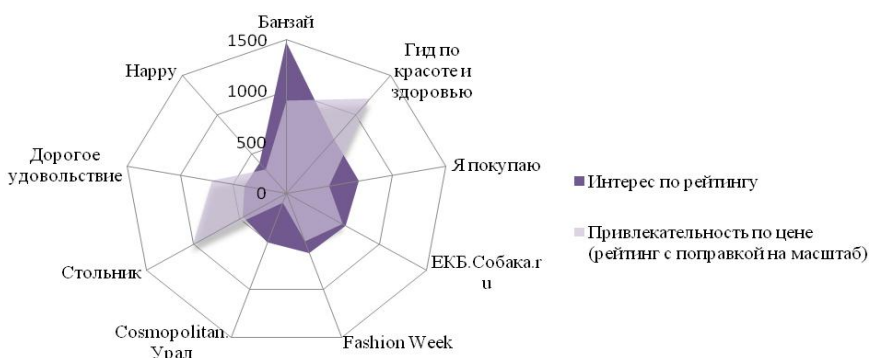


Рис. 2. Привлекательность глянцевого издания Екатеринбурга для рекламодателей

¹ Рейтинг формируется на основе просмотров анкет изданий уникальными посетителями портала. Для определения «уникальности» используется IP-адрес. Указанный процент – это доля конкретного издания от общего количества уникальных посещений анкет всех изданий определенной тематики (в данном случае, глянцевых изданий) за определенный период времени. По умолчанию – за последний год.

Хочется отметить еще одну закономерность, представляющую интерес для анализа: разрыв между лидером среди глянцевых изданий журналом «Банзай» и следующим за ним «Гид по красоте и здоровью» составляет 13,72%, притом что средняя дельта между остальными изданиями не превышает 1% [3]. Сравнив содержание этих журналов, можно увидеть, что ключевое отличие «Банзай» заключается в его ориентации на мужчин, а также в содержании: политика и история, женщины и известные люди, развлечения и путешествия, спорт и отдых, автомобили и техника, кухня, вино, табак. То есть непосредственно модным тенденциям уделяется существенно меньшее внимание, чем в остальных глянцевых журналах.

Кроме глянцевых, аналогичному анализу подверглись деловые издания Екатеринбурга² (рис. 3).

Из диаграммы следует, что ситуация на рынке деловых изданий более однородна: в большинстве случаев привлекательность по цене соответствует позиции в рейтинге.

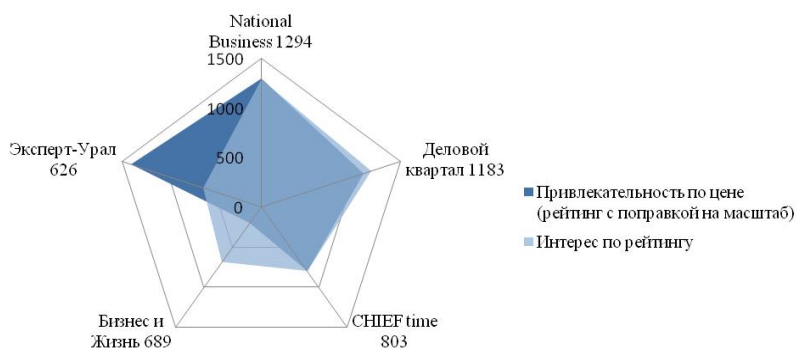


Рис. 3. Привлекательность деловых изданий Екатеринбурга для рекламодателей

Стоит отметить также, что активность рекламодателей на поле изданий категории «Деловые» существенно выше, чем в секторе «Глянцевые» (для сравнения, средний показатель просмотров анкет деловых изданий составляет 919, в то время как для глянцевых журналов эта цифра меньше почти в полтора раза – 549) [3].

Особый интерес для исследования представляет сравнение привлекательности изданий из двух сфер: глянцевые и деловые (рис. 4).

«Перевес» предпочтений рекламодателей в сторону деловых изданий очевиден. Данное наблюдение справедливо для всех журналов сразу по двум анализируемым показателям. Это указывает на достаточно стабильный спрос со стороны рекламодателей и уверенные позиции сектора деловых изданий.

² Для анализа деловых изданий были выбраны основные игроки данного рынка, по формату верстки и подачи рекламного материала максимально приближенные к анализируемым глянцевым журналам.

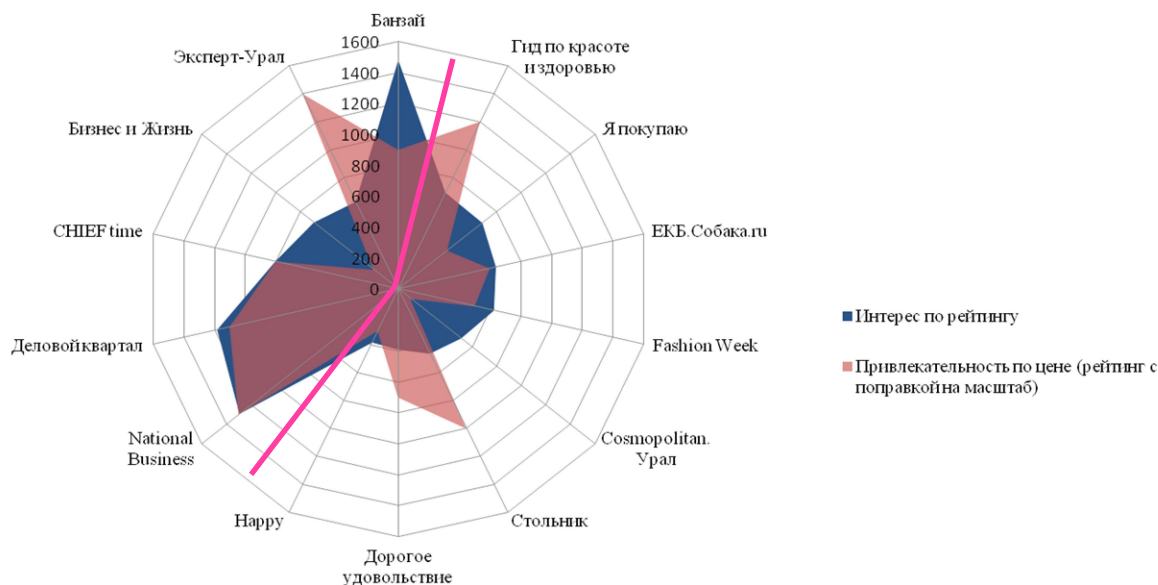


Рис. 4. Привлекательность глянцевого и деловых изданий Екатеринбурга для рекламодателей

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что аудитория рекламодателей деловых журналов представляет интерес и является весьма перспективной также с позиции издателей глянцевого журналов. Причем есть все основания полагать, что этот интерес может быть взаимным, поскольку существенная доля читателей глянцевого издания являются сегодня потенциальными потребителями рекламодателей деловых журналов.

Кроме того, становится все очевиднее тенденция к интеграции областей интересов изданий разных сфер: периодически (как правило, в формате разовых рекламных спецпроектов) в деловых журналах, таких как «Бизнес и жизнь», «National Business», «CHIEF time», появляется рекламный материал или информационные статьи, непосредственно относящиеся к fashion-индустрии. В то же время, и некоторые глянцевые журналы начинают осваивать рынок рекламодателей деловых изданий, рекламируя компании, занимающиеся недвижимостью, банки и др.

Следовательно, разумно подкорректировав свою стратегию позиционирования и дополнительно сфокусировав внимание на деловой сфере, издатели глянцевого журналов смогут привлечь значительное число новых клиентов, тем самым существенно повысив доходы от продажи рекламных площадей.

Безусловно, такое позиционирование должно не только учитывать предпочтения новых целевых групп, но и принимать во внимание интересы уже имеющихся рекламодателей. Другими словами, стратегия позиционирования должна быть направлена, с одной стороны, на завоевание доверия представите-

лей бизнес-среды, с другой – на поддержание лояльности существующих клиентов за счет сохранения статуса глянцевого (в традиционном понимании этого слова) журналов, транслирующих модные тенденции. В текущей ситуации такой подход к позиционированию как способу повышения коммерческой эффективности глянцевого журналов представляется весьма перспективным.

Список литературы

1. Бейкер М. Маркетинг. Бизнес-класс. Санкт-Петербург: Питер, 2002.
2. www.media-atlas.ru
3. www.reklama-online.ru
4. Голубков Е.П. Сегментация и позиционирование // Менеджмент в России и за рубежом. 2001. №4.
5. Котлер Ф. Маркетинг менеджмент. Экспресс-курс. 2-е изд. СПб.: Питер, 2006. 464 с.
6. Индустрия моды. Ежеквартальное издание ЗАО Эдипресс-Конлига. №4 (47). Осень 2012.
7. Джексон Т., Шоу Д. Индустрия моды: пер. с англ. Киев: Баланс Бизнес Букс, 2011. 400 с.
8. Хайнс Т., Брюс М. Маркетинг в индустрии моды. Комплексное исследование для специалистов отрасли: пер. с англ. Минск: Гревцов Букс, 2011. 416 с.

Bibliography

1. M. Baker. Marketing. Business class. St. Petersburg: Peter, 2002
2. www.media-atlas.ru
3. www.reklama-online.ru
4. E. Golubkov. Segmentation and positioning. // Management in Russia and abroad. 2001. № 4.
5. F. Kotler. Marketing Management. Express course. 2 ed. St.: Peter, 2006. 464 p.
6. Fashion Industry. Magazine, Edipress-Konliga. № 4 (47). Autumn. 2012.
7. T. Jackson, D. Shaw. Fashion Industry. Tr. from English. Kiev: Balance Business Books, 2011. 400 p.
8. T. Haynes, M. Bruce. Marketing in fashion industry. Complex research for the professionals. Tr. from English. Minsk: Grevtsov Books, 2011. 416 p.

ПРАВО И ПРАВОВЕДЕНИЕ

УДК 342.9.07

Мещерякова Т.Р.

ПРИМЕНЕНИЕ ТРУДОВОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА К РЕГУЛИРОВАНИЮ ОТНОШЕНИЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГРАЖДАНСКОЙ СЛУЖБЫ

Субсидиарное применение норм Трудового кодекса РФ к регулированию отношений по прекращению государственной гражданской службы в связи с сокращением численности или штата служащих вызывает на практике трудности и, как следствие, большое количество судебных споров. В статье рассматриваются особенности применения норм Трудового кодекса к регулированию служебных отношений, анализируются сложные ситуации, даются рекомендации по устранению противоречий в спорных ситуациях.

Ключевые слова: государственный служащий, сокращение численности или штата, Трудовой кодекс, субсидиарное применение.

Subsidiary application of Labor code standards in regulating relations concerning state civil service abatement in connection with number or staff of servants' reduction causes difficulties in practice, and consequently a great number of legal controversies. The article deals with peculiarities of application of Labor code standards concerning employer-employee relations regulation, it analyses difficult situations, gives recommendations how to remove contradictions in lawsuits.

Keywords: public servant, number or staff reduction, Labor code, subsidiary application.

Подчеркивая особый характер государственной гражданской служебной деятельности, в законодательстве предусмотрено правило о применении трудового законодательства к регулированию государственной службы только в части, не урегулированной Федеральным законом от 27 июля 2004 года №79-ФЗ «О государственной гражданской службе». На практике указанная норма порождает большое количество споров и противоречий в применении.

Так, Н.З. была уволена с государственной гражданской службы в связи с ликвидацией обособленного структурного подразделения таможни, находящегося в другой местности. Поскольку в ФЗ «О государственной гражданской службе» не предусмотрены особенности расторжения служебных отношений при ликвидации обособленных структурных подразделений, увольнение было произведено на основании ч.1,4 ст.81 ТК РФ. Законность увольнения была подтверждена судом первой инстанции. Однако суд кассационной инстанции отменил решение, указав, что поскольку основания увольнения гражданских служащих и порядок их увольнения в связи с проведением организационно-штатных мероприятий урегулирован специальным законом, то при разрешении указанного спора положения Трудового кодекса РФ, предусматривающих возможность увольнения работника в связи с ликвидацией обособленного структурного подразделения организации по правилам, предусмотренным для ликвидации организации, не подлежат применению. Федеральный закон «О государственной гражданской службе в Российской Федерации» не предусматривает такого основания, как ликвидация обособленного структурного подразделения государственного органа.

Кроме того, суд кассационной инстанции счел возможным применить положения ст. 261 Трудового

кодекса РФ, устанавливающей запрет на расторжение трудового договора по инициативе работодателя, в том числе в связи с сокращением штата или численности работников, с женщинами, имеющими детей в возрасте до трех лет [1].

Действительно, защита материнства и детства данным решением обеспечивается, но нет механизма исполнения данного решения: государственный гражданский служащий восстанавливается на работе в несуществующее обособленное подразделение государственного органа или просто в государственный орган? И здесь возникает другой вопрос: как обеспечить возможность исполнения государственному служащему должностных обязанностей, поскольку осуществлять служебную деятельность по месту нахождения самого государственного органа государственный служащий не может, т.к. это связано с постоянными поездками либо со сменой места жительства, к чему многие оказываются не готовы, и с отсутствием вакантных мест.

В настоящее время очень много говорят об укрупнении государственных органов, об упразднении отдельных территориальных подразделений. Иногда происходит и ликвидация государственных органов в целом. По этой причине представляется необходимым применять к случаям ликвидации структурных подразделений нормы трудового законодательства о ликвидации организаций. В противном случае создается парадоксальная ситуация: орган ликвидирован, а работники уволены по сокращению штата, а не ликвидации. И отсутствует реальный механизм исполнения таких решений.

Принцип справедливости, провозглашенный в качестве основного законодательного и судебного принципа, предполагает введение ограничений в пра-

вовом статусе государственных служащих только в той мере, которая необходима для обеспечения особого характера государственных служебных отношений, и не должна ограничивать иных прав государственных служащих [2].

Гарантии для женщин, имеющих детей, от увольнения по инициативе работодателя предусмотрены в Трудовом кодексе РФ, не предусмотрены в ФЗ «О государственной гражданской службе». И вопрос о применении трудового законодательства в этих случаях решается судом по-разному.

Если в одних случаях суды применяют нормы ст.261 ТК РФ к государственным гражданским служащим [1], то в других – нет. Так, при рассмотрении спора о сокращении государственного служащего суд посчитал, что положения ст.261 ТК РФ применению не подлежат, т.к. право на заключение служебного контракта на предложенные вакантные должности истицей использовано не было, в связи с чем работодатель правомерно расторг с государственной гражданской служащей служебный контракт. Поскольку истица сама отказалась от перевода на предложенные ей вакантные должности, факт того, что она является одинокой матерью, воспитывающей ребенка до 14 лет, на законность увольнения не влияет [3].

Аналогичное мнение было высказано и Конституционным судом РФ. В частности, было указано, что субсидиарное применение ч.4 ст. 261 ТК РФ к отношениям, связанным с государственной гражданской службой, возможно только в случаях расторжения служебного контракта по инициативе представителя нанимателя. А увольнение по основанию, предусмотренному ч.1 ст.37 Федерального закона «О государственной гражданской службе РФ», в число которых отказ гражданского служащего от предложенной для замещения иной должности гражданской службы либо от профессиональной переподготовки или повышения квалификации в связи с сокращением должностей гражданской службы, а также при непредоставлении ему в этих случаях иной должности гражданской службы, не является увольнением по инициативе представителя нанимателя, поэтому гарантия, предусмотренная ч.4 ст. 261 ТК РФ, не предоставляется [4].

Таким образом, одно и то же основание прекращения отношений – сокращение штата содержит в себе различные действия. И в ст. 81 ТК РФ, и в ст.31 ФЗ «О государственной гражданской службе» указано правило о предложении работодателем (представителем нанимателя) сокращаемому лицу вакантных должностей. Только в трудовом законодательстве эта процедура охватывается расторжением трудовых отношений в связи с сокращением численности или штата, а в законодательстве о государственной службе – нет. Представляется, что такое выделение ограничивает права государственных служащих на применение к ним гарантий, предусмотренных ст.261 ТК РФ, что нельзя признать допустимым.

Аналогичного мнения придерживаются и другие исследователи. Так, М.В.Пресняков считает, что Федеральный закон «О государственной гражданской службе Российской Федерации»: «не только не обеспе-

чил стабильность правового положения гражданского служащего, но и в значительной степени «упразднил» те государственные гарантии, которые предусматривались Федеральным законом «Об основах государственной службы Российской Федерации» [5].

Сложности вызывает и применение гарантии об обязанности работодателя предложить другую работу (как вакантную должность или работу, соответствующую квалификации работника, так и вакантную нижестоящую должность или нижеоплачиваемую работу), которую работник может выполнять с учетом его состояния здоровья. Указанная гарантия есть и в ст.31 ФЗ «О государственной гражданской службе», но в несколько усеченном варианте. Представитель нанимателя может (но не обязан) предоставить гражданскому служащему с учетом уровня его квалификации, профессионального образования и стажа гражданской службы или работы (службы) по специальности возможность замещения иной должности гражданской службы или направить на переподготовку.

В литературе нет единого мнения по указанному вопросу. Одни авторы считают, что такая обязанность у представителя нанимателя существует: сделать такой вывод позволяют формулировки пп.4, 6 ст.31, п.6 ч.1 ст.33, п.3 ст.53 Закона «О государственной гражданской службе». В указанных положениях Закона содержится косвенное подтверждение этому, а именно при сокращении должностей гражданской службы гражданскому служащему, чья должность подлежит сокращению, представитель нанимателя обеспечивает возможность замещения иных должностей гражданской службы не только в этом государственном органе, но и в ином государственном органе [6]. По мнению других, системное толкование указанных норм Закона «О государственной гражданской службе» и приводит к прямо противоположному выводу, поскольку (в отличие как от норм трудового законодательства, так и от прежнего Закона об основах государственной службы) п. 6 ч. 1 ст. 33 Закона о государственной гражданской службе предусматривает увольнение служащего не при невозможности предоставить иную должность, а при непредоставлении такой должности [5].

Изучение судебной практики показало, что представители нанимателей предлагают сокращаемым государственным служащим иные вакантные должности, которые соответствуют квалификации государственных служащих. А при возникновении споров в суде доказывают несоответствие сокращенных государственных служащих требованиям, предъявляемым к лицам, претендующим на замещение имеющихся вакантных должностей в государственном органе. Учитывая, что государственным гражданским служащим трудно устроиться на работу после увольнения с государственной службы в силу установленных ограничений по трудоустройству, можно говорить о необходимости предложения сокращаемому государственному служащему вакантных мест.

Тем более, что в ст.22 ФЗ «О государственной гражданской службе» предусмотрен льготный поря-

док замещения должности сокращаемым государственным служащим (непроведение конкурса на замещение должности).

В соответствии с п.8 ст.31 ФЗ «О государственной гражданской службе» представитель нанимателя с письменного согласия гражданского служащего вправе расторгнуть с ним служебный контракт без предупреждения об освобождении от замещаемой должности гражданской службы за два месяца. Возможность досрочного прекращения (до истечения двух месяцев) трудовых отношений предусмотрена и в ст.180 ТК РФ. Однако в трудовом законодательстве говорится о выплате дополнительной компенсации в размере среднего заработка, пропорционально времени, оставшегося до истечения срока предупреждения об увольнении. Для государственных служащих такая гарантия не предусмотрена, что дает возможность для государственных органов не выплачивать указанную компенсацию.

Указанную точку зрения разделяют и некоторые ученые. Мнение о невозможности субсидиарного применения ст.180 ТК РФ к регулированию служебных отношений усматривают в скрупулезном и подробном регулировании отношений в ФЗ «О государственной гражданской службе» как комплексной нормативно-правовой основы регулирования государственной службы Российской Федерации [6].

Согласиться с вышеизложенным мнением сложно, поскольку применение ТК РФ прямо предусмотрено к регулированию служебных отношений в части, не урегулированной специальным законом. Да и не совсем понятна при этом была бы позиция служащего. Для чего уходить с государственной службы заранее, если есть возможность сохранить не только денежное содержание, но и стаж государственной службы? Подтверждение субсидиарного применения норм ТК РФ для выплаты компенсации за досрочное увольнение есть и в судебной практике. Так, в определении кассационной инстанции указано, что нельзя считать отсутствием основания для взыскания денежной компенсации, предусмотренной ч.3 ст. 180 ТК РФ, тот факт, что инициатива досрочного увольнения исходила от самого государственного служащего, а представитель нанимателя лишь согласился на досрочное увольнение служащего и указывал в сообщении об увольнении по собственному желанию, так как обязанность работодателя по выплате предусмотренной ч.3 ст. 180 ТК РФ дополнительной компенсации не ставится законом в зависимость от того, по чьей инициативе произошло досрочное увольнение, правовое значение имеет основание увольнения [7].

Вопросы, связанные с компенсационными выплатами для отдельных категорий государственных служащих, несущих службу в особых климатических условиях, также стали предметом рассмотрения Верховного суда РФ.

При увольнении с государственной гражданской службы в связи с реорганизацией государственного органа или изменением его структуры, ликвидацией государственного органа либо сокращением должностей гражданской службы гражданскому служащему взамен выходного пособия выплачивается компенсация в размере четырехмесячного денежного содержа-

ния (ч.9 ст.31 ФЗ «О государственной гражданской службе РФ»). Предоставления дополнительных гарантий и компенсаций лицам, увольняемым при указанных обстоятельствах с государственной гражданской службы в районах и местностях с особыми природно-климатическими условиями, в том числе в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях, и испытывающим по этой причине повышенные трудности в поиске работы, в законе не предусмотрено.

Поэтому государственным гражданским служащим при увольнении с государственной гражданской службы в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях по п. 6 ч. 1 ст. 33 Федерального закона «О государственной гражданской службе РФ» вследствие отказа от предложенной для замещения иной должности государственной гражданской службы либо от профессиональной переподготовки или повышения квалификации в связи с сокращением должностей государственной гражданской службы, а также при непредоставлении в этих случаях иной должности государственной гражданской службы выплачивается компенсация согласно п. 9 ст. 31 данного Федерального закона в размере четырехмесячного денежного содержания, которое сохраняется за ними в порядке, предусмотренном частью второй ст. 318 ТК РФ (подобно сохранению среднего месячного заработка за лицами, увольняемыми в связи с ликвидацией организации либо сокращением численности или штата работников организации в этих же районах и местностях), также на период трудоустройства, но не свыше шести месяцев со дня увольнения с учетом выплаты указанной компенсации, то есть в течение пятого и шестого месяцев со дня увольнения [8].

Безусловное субсидиарное применение норм Трудового кодекса РФ к регулированию служебных отношений в части, не урегулированной действующим специальным законодательством, необходимо для обеспечения соблюдения принципов справедливости и обоснованности применения ограничений к государственным служащим. Особое положение государственных служащих, вызванное сложностью и ответственностью служебной деятельности, должно обеспечиваться даже большими гарантиями, чем трудовая деятельность. Ведь стабильность положения государственного служащего обеспечивает не только стабильность и авторитет государственной службы, но и государства в целом.

Список литературы

1. Определение Челябинского областного суда от 24 октября 2011 года по делу № 33-10914/2011 // Сайт Челябинского областного суда URL: http://212.57.147.70/websud/bsr/TEXT.PHP?ID_DOCUM=887727 (дата обращения 03.07.2012).
2. Постановление Европейского суда по правам человека от 07.10.2010 «Дело Константин Маркин (Konstantin Markin) против России» [англ.] // Документ не опубликован. Доступ из СПС «КонсультантПлюс».
3. Определение Челябинского областного суда от 07 февраля 2011 года по делу № 33-963/2011 // Сайт Челябинского областного суда URL: http://212.57.147.70/websud/bsr/TEXT.PHP?ID_DOCUM=751076 (дата обращения 03.07.2012).
4. Постановление Конституционного Суда РФ от 22.11.2011 № 25-П «По делу о проверке конституционности положений части 4 статьи 31, пункта 6 части 1 статьи 33 и статьи 37 Федерального закона «О государственной гражданской службе Российской Федерации» в связи с жалобой гражданки В.Ю. Боровик» // Российская газета. 2011. №273.

5. Пресняков М.В. Государственные гарантии гражданскому служащему при увольнении в связи с организационно-штатными мероприятиями: к вопросу о реализации конституционных принципов равенства и справедливости в правовом регулировании государственно-служебных отношений // Трудовое право. 2009. №12.
6. Осин А.А. Некоторые вопросы, возникающие при сокращении должностей государственной гражданской службы // «Трудовое право». 2007. №6.
7. Определение Челябинского областного суда от 20 февраля 2012 года по делу № 33-1516/2012 // Сайт Челябинского областного суда URL: http://212.57.147.70/websud/bsr/TEXT.PHP?ID_DOCUM=928281 (дата обращения 03.07.2012).
8. Обзор законодательства и судебной практики Верховного Суда Российской Федерации за третий квартал 2008 года (утв. Постановлением Президиума Верховного Суда РФ от 05.12.2008) // Бюл. Верховного Суда РФ. 2009. №2 (извлечение).
3. Chelyabinsk region court definition from February 07 2011 engagement № 33-963/2011 // Chelyabinsk region court site URL: http://212.57.147.70/websud/bsr/TEXT.PHP?ID_DOCUM=751076 (appeal date 03.07.2012).
4. Constitution Court RF Determination from 22.11.2011 № 25-P «Engagement about inspection of constitutionality of cases in part 4 article 31, item 6 part 1 article 33 and article 37 of Federal Law «About state civil service in the Russian Federation» in connection with the citizen V. U. Borovik's complaint» // Rossiiskaja gazeta. 2011. №273.
5. Presnyakov M. V. State guarantees for a civil employee during mittimus as a result of stuff organization activities: to the question about realization of Constitution principles of equality and justice in legal regulating state-office relations // Labor Law. 2009. 12.
6. Osin A.A. Some questions arising during reduction of posts of state civil service // «Labor Law». 2007. № 6.
7. Chelyabinsk region court definition from February 20, 2012 engagement № 33-1516/2012 // Chelyabinsk region court site URL: http://212.57.147.70/websud/bsr/TEXT.PHP?ID_DOCUM=928281 (appeal date 03.07.2012).
8. Review of legislation and juridical practice of Supreme Court of the Russian Federation for the third quarter 2008 (affirmed. By Determination of Presidium of Supreme Court RF from 05.12.2008) // « Supreme Court RF Bulletin». 2009. № 2 (extract).

Bibliography

1. Chelyabinsk region court definition from October 24, 2011 engagement № 33-10914/2011 // Chelyabinsk region court site URL: http://212.57.147.70/websud/bsr/TEXT.PHP?ID_DOCUM=887727 (appeal date 03.07.2012).
2. EUROPEAN COURT OF HUMAN RIGHTS determination from 07.10.2010. «Engagement Konstantin Markin against Russia» [eng.] //

УДК 347.02

Субботина Е.В.

СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ОТ ЗЛОУПОТРЕБЛЕНИЯ СВОБОДОЙ СЛОВА В СЕТИ ИНТЕРНЕТ

Реализация лицом своих прав, включая право на свободное выражение мыслей и мнений, не должна приводить к нарушению прав или законных интересов другого лица. Российское законодательство должно выработать специальные механизмы защиты от нарушений, связанных с реализацией права на свободу слова. Должны учитываться особенности такого информационного инструмента, как Интернет. Возможные способы защиты: требование об удалении соответствующей информации с конкретного сайта, запрос данных пользователя с его последующим привлечением к ответственности, возложение ответственности на Интернет-провайдера.

Ключевые слова: злоупотребление, свобода слова, ответственность, распространение информации.

The person's exercise of his rights, including the right to free realization of his thoughts and opinions, must not lead to rights and legal interests of another person violation. Russian legislation must work out special mechanisms of violation defense connected with freedom of speech right realization. They should take into consideration such an informational recourse as the Internet. Possible methods of defense: demand to delete appropriate information from the concrete site, the user's data inquiry with his responsibility attraction, assignment of responsibility on Internet provider.

Keywords: abuse, freedom of speech, responsibility, information dissemination.

Согласно ст.10 Конвенции о защите прав человека и основных свобод [1] каждый человек имеет право на свободу выражать своё мнение. Это право включает свободу придерживаться своего мнения и свободу получать и распространять информацию и идеи без какого-либо вмешательства со стороны государственных органов и независимо от государственных границ. В то же время осуществление этих свобод, налагающее обязанности и ответственность, может быть сопряжено с определенными формальностями, условиями, ограничениями или санкциями, которые предусмотрены законом и необходимы в демократическом обществе в интересах национальной безопасности, территориальной целостности или общественного порядка, в целях предотвращения беспорядков или преступлений, для охраны здоровья или нравственности, защиты репутации или прав других лиц, предотвращения разглашения информации, полученной конфиденциально, или

обеспечения авторитета и беспристрастности правосудия (п. 2 ст. 10 Конвенции).

Следовательно, реализация лицом своих прав, в том числе предоставленных в силу международных соглашений, включая право на свободное выражение мыслей и мнений, не должны приводить к нарушению прав или законных интересов другого лица.

Свобода выражения мнения составляет одну из основ демократического общества; с учетом положений пункта 2 статьи 10 Конвенции она распространяется не только на «информацию» или «идеи», которые благосклонно принимаются или считаются безвредными или нейтральными, но также на оскорбляющие, шокирующие или причиняющие беспокойство. Европейский суд по правам человека в своих актах указывает также на то, что даже если высказывание представляет собой оценочное суждение, соразмерность вмешательства может зависеть от того, имеется ли у данного высказывания достаточная фактическая ос-

нова, потому что даже оценочное суждение без какой-либо фактической основы, подкрепляющей его, может оказаться чрезмерным [2].

Интернет является общепризнанным средством массовой коммуникации, используемым с целью общения и получения информации. Сведения, опубликованные в сети Интернет, адресованы неопределенному кругу лиц и размещаются, как правило, без указания на срочный характер публикации, то есть период нахождения данных сведений в открытом доступе в сети Интернет является неопределенным.

В российском законодательстве отсутствует легальное определение понятия «сайт» («сайт в сети Интернет»). В правовом смысле интернет-сайт как информационный ресурс представляет собой совокупность информации, содержащейся в той или иной информационной системе и находящейся в распоряжении обладателя информации, то есть лица, самостоятельно создавшего информацию либо получившего на основании закона или договора право разрешать или ограничивать доступ к информации, определяемой по каким-либо признакам. Однако даже поверхностный взгляд на реальное содержание современных интернет-сайтов позволяет утверждать, что практика намного обогнала законодателя, и в нынешних условиях следовало бы определять сайт более широко – как «совокупность определенным образом формализованных объектов» [3].

В одном из своих актов Европейский суд по правам человека признал, что Интернет является информационным инструментом, отличным от печатных средств массовой информации, и что информационные ресурсы и коммуникации в Интернете представляют гораздо большую угрозу причинения вреда, чем пресса. Следовательно, политика в отношении воспроизведения материалов из печатных СМИ и из Интернета может быть различной [4].

Действующим законодательством и обычаями делового оборота специально не установлена ответственность владельцев и администраторов Интернет-ресурсов за достоверность информации, размещенной на сайте третьими лицами. Разрешение возникающих споров возможно различными способами: предоставление правовой защиты и привлечение к ответственности с помощью общих способов, предусмотренных гражданским законодательством, либо выработать специальные механизмы защиты, учитывая правовую природу Интернет-сайта.

Так, ФАС Московского округа, рассматривая спор между ЗАО «Тройка-Сталь» и ООО «Мегасофт», указал на то, что ссылка ответчика на то, что сведения в виде сообщений распространялись не им, а анонимными посетителями принадлежащего ему сайта www.metaltorg.ru, доступ к которому является свободным, обоснованно отклонена судом первой и апелляционной инстанций с указанием на то, что сама возможность появления порочащих сведений на страницах данного интернет-сайта является следствием создания ответчиком как его владельцем соответствующих технологических условий [5].

Размещенные на Интернет-сайтах сведения находятся на соответствующих ресурсах постоянно и непрерывно, тем самым продолжается их распространение, которое может быть прекращено лишь в случае совершения действий по удалению соответствующей информации со страниц Интернет-сайтов.

Пункт 2 ст. 150 ГК РФ предусматривает возможность использования при защите нематериальных благ любого способа защиты, названного в ст. 12 ГК РФ, а также иных способов, установленных ГК РФ или иными законами. Таким образом, защита гражданских прав может осуществляться путем пресечения действий, нарушающих право или создающих угрозу его нарушения.

Требования истца могут заключаться в обязанности ответчиков исключить порочащие сведения со страниц соответствующих Интернет-сайтов. Данный способ защиты прав обусловлен объективными технологическими особенностями такого информационного источника, как сеть Интернет. Подобный способ защиты прав, нарушенных распространением порочащих сведений, был использован в решении Замоскворецкого районного суда города Москвы от 02.11.2011 [6].

В соответствии с п. 3 ст. 17 ФЗ от 27.07.2006 г. №149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» [7] в случае, если распространение определенной информации ограничивается или запрещается федеральными законами, гражданско-правовую ответственность за распространение такой информации не несет лицо, оказывающее услуги:

а) либо по передаче информации, предоставленной другим лицом, при условии ее передачи без изменений и исправлений;

б) либо по хранению информации и обеспечению доступа к ней при условии, что это лицо не могло знать о незаконности распространения информации.

Согласно части 6 п. 23 Постановления Пленума Верховного суда РФ от 15.06.2010 №16 «О практике применения судами Закона Российской Федерации «О средствах массовой информации» [8] если на сайте в сети Интернет, зарегистрированном в качестве средства массовой информации, комментарии читателей размещаются без предварительного редактирования (например, на форуме читателей материалов такого сайта), то в отношении содержания этих комментариев следует применять правила, установленные в ч. 2 ст. 24 и п. 5 ч. 1 ст. 57 Закона РФ «О средствах массовой информации» для авторских произведений, идущих в эфир без предварительной записи. В случае поступления обращения уполномоченного государственного органа, установившего, что размещенные комментарии являются злоупотреблением свободой массовой информации, редакция указанного средства массовой информации вправе удалить их с сайта либо отредактировать, руководствуясь положениями ст. 42 Закона РФ «О средствах массовой информации». Если комментарии, представляющие собой злоупотребление свободой массовой информации, и после этого остаются доступными для пользо-

вателей данного сайта в сети Интернет, то правила п. 5 ч. 1 ст. 57 Закона РФ «О средствах массовой информации» не применяются. С учетом этого при рассмотрении вопроса о допустимости привлечения редакции к ответственности судам следует выяснять, выдвигались ли уполномоченным государственным органом требования об удалении сведений с форума, а также было ли произведено удаление либо редактирование сведений, в связи с распространением которых перед судом поставлен вопрос о привлечении редакции к ответственности.

Вмешательство редактора или владельца Интернет-сайта в ход обсуждения статьи или иного материала, размещенного на Интернет-ресурсе, возможно в случае обращения уполномоченного органа. При рассмотрении вопроса о допустимости привлечения редакции к ответственности судам следует выяснить, выдвигались ли уполномоченным государственным органом требования об удалении сведений с форума, а также было ли произведено удаление либо редактирование сведений, в связи с распространением которых перед судом поставлен вопрос о привлечении редакции к ответственности.

Так, рассматривая кассационную жалобу, судебная коллегия по гражданским делам Липецкого областного суда в определении от 28 марта 2011 года [9] указала на то, что на сайте Gorod 48.ru в комментариях к статьям «На хрена мне такая Родина» и «На хрена мне такая родина 2», 16-го, 17, 18 октября 2010 года в 15:07, 13:14 и 21:00 опубликованы текстовые сообщения, содержащие порочащую информацию. Впоследствии указанная информация была удалена администрацией сайта.

Но следует также учитывать, что способ редактирования размещаемой на сайте информации каждый владелец информационного ресурса устанавливает самостоятельно.

Центральный районный суд г. Кемерово в решении от 12 августа 2010 года [10] установил, что владелец сайта не проводил работу по редактированию сообщений посетителей форума «Кузбасс против коррупции», предоставив ресурс форума для передачи информации, предоставленной другими лицами. Администратором сайта на форуме «Кузбасс против коррупции» размещен информационный баннер, содержащий адресованную посетителям форума просьбу размещать на форуме только достоверную информацию. Таким способом администрация сайта проинформировала посетителей о том, что достоверность размещаемой информации не проверяется администрацией сайта.

Допрошенный в ходе рассмотрения дела свидетель пояснил, что работает в должности системного администратора. Сайт <http://www.rabota-kuzbass.ru> создавался для размещения информации и объявления работодателей и граждан, ищущих работу. Сайт смоделирован таким образом, что размещение объявлений возможно как после регистрации посетителя, так и без регистрации. Форум «Кузбасс против коррупции» был создан на сайте в поддержку призыва Губернатора Кемеровской области на борьбу с кор-

рупцией. В информационном баннере форума указано, что все сообщения форума носят анонимный характер, что предполагает отсутствие регистрации посетителей. Системный администратор занимался удалением только сообщений, содержащих нецензурную брань, один-два раза в неделю: сообщения удалял полностью уже после того, как они были размещены на форуме, в смысл сообщений не вчитывался. То есть сообщение каждого посетителя форума появляется в сети в режиме реального времени, а вопрос об удалении сообщения, содержащего нецензурную брань, решается уже после обнаружения такого сообщения. Теоретически возможно отследить сервер, с которого было отправлено сообщение, но установить личность отправителя невозможно.

То обстоятельство, что администрацией сайта удалялись сообщения, содержащие нецензурную брань, не может являться доказательством редактирования сообщений, поскольку при обнаружении сообщений, содержащих нецензурную брань, сообщения удалялись целиком, а не редактировались администрацией сайта.

При рассмотрении дел о защите чести, достоинства, деловой репутации сведениями, распространенными в сети Интернет, трудности вызывает установление личных данных автора распространённой информации. Способы установления пользовательской информации различны: судом самостоятельно по обстоятельствам размещения информации (подпись автора сообщения, место, время), посредством использования различных средств доказывания (протоколы нотариуса, заключения специалистов, материалы провайдеров).

В упомянутом определении Липецкий областной суд, установив ответчика, указал, что текстовые сообщения подписаны фамилией «Герштейн», сопровождаются его фотографией, а их содержание полностью соответствует обстоятельствам, отраженным в соответствующих материалах проверки органов внутренних дел, детали которых могли быть известны только Герштейну Г.И. Суд учитывал единство своеобразной стилистики изложения информации Герштейном Г.И., сравнивая распространенные сведения с имеющимися в деле его заявлениями, объяснениями и иными документами. Доказательства распространения оспариваемых сведений иными лицами Герштейн Г.И. не представил.

При таких обстоятельствах суд признал, что отсутствие данных о принадлежности Герштейну Г.И. конкретного электронного адреса распространения текстовых сообщений само по себе не является основанием для отказа в удовлетворении иска.

В другом деле суд проделал большую работу по установлению лица, распространившего оспариваемую информацию [11]. 9 и 11 марта 2010 г. соответственно на Интернет-сайтах «Человек и Закон» (форум) и Россия 1 (форум) была размещена информация от имени заместителя директора фирмы К. под заголовком «Коррупция в г. Ульяновске». Данная информация содержит утверждения о том, что заместитель начальника отдела проверок Госэкоконтроля по Ульяновской области, злоупотребляя служебным поло-

жением, требует оказать спонсорскую помощь якобы для Госэкоконтроля, обещая за это не проводить проверку, а получив взятку, тем не менее, приходит с проверкой. В конце информации указан адрес и контактная информация автора.

В соответствии с представленным ответом директора Дирекции интернет-сайтов ГТРК пользователем ssw011 сайта, зарегистрировавшимся на сайте в конкретный момент времени, является пользователь 1 – Имя: Сергей, Возраст: 43, Пол: М, Город: Ульяновск, E-mail: *** LP, адрес, с которого была осуществлена регистрация пользователя на сайте: (точно установлен), адрес электронной почты, указанный при регистрации: ***. Согласно правилам Форума интернет-сайта Россия 1 для участия в Форумах гостю необходимо зарегистрироваться: «Обязательно укажите достоверный e-mail, поскольку на него будет выслана информация для подтверждения регистрации». Согласно ответу ОАО «Волга Телеком» IP-адрес (точно установлен) в период времени 09.03.2010 г. в 12.25 час. присваивался абоненту ОАО «ВолгаТелеком» С., с которой был заключен договор на оказание услуг «Выделенный доступ в Интернет (точка-Интернет)» по технологии ADSL на номер телефона ***. Указанный телефон установлен по месту нахождения ответчика.

Басманный районный суд города Москвы [12] в основу решения о привлечении автора сообщения к ответственности за распространение порочащих сведений на интернет-сайте «Новая газета» положил заключения ЗАО «Первый всесоюзный экспертный центр информационных технологий и массовых коммуникаций», в цели деятельности которого, исходя из положений Устава, входит проведение информационных экспертиз в области информационной защиты прав в сети Интернет, информационное обеспечение доказательств: просмотр, фиксация сведений и фактов в сети Интернет, поиск и предоставление электронной копии лог-файла, в связи с чем суду представлена копия интернет-сайта «Новая газета», где опубликована вышеуказанная статья. Сведения распространены ответчиками путем публикации газеты среди интернет-аудитории на территории Российской Федерации и зарубежных стран.

Самым часто встречающимся доказательством распространения сведений, опубликованных в сети Интернет, являются нотариально заверенные протоколы осмотра интернет-сайтов по конкретным адресам [13].

При производстве нотариусом осмотра составляется протокол [14], в котором указываются: дата и место производства осмотра; фамилия, инициалы нотариуса, производящего осмотр, дата и номер приказа органа юстиции о назначении на должность нотариуса, его нотариальный округ или наименование государственной нотариальной конторы; сведения о заинтересованных лицах, участвующих в осмотре; обстоятельства, обнаруженные при осмотре. Протокол подписывается участвующими в осмотре лицами, нотариусом и скрепляется печатью нотариуса.

Следует учитывать, что в данном протоколе констатируется факт наличия определенной информации на конкретном интернет-сайте (обеспечиваются дока-

зательства ее распространения). Нотариус не обладает специальными техническими познаниями и возможностями, не проводит розыск и установление лица, разместившего информацию на информационном ресурсе.

В российской практике отсутствует опыт использования в качестве средства защиты требование к провайдеру о передаче адресов и другие контактных данных нарушителей прав. Подобная практика сложилась, например, в Великобритании.

Никола Брукс (Nicola Brookes), жительница британского города Брайтон, подала в суд на своих преследователей – сетевых хулиганов, которые создали якобы от лица Брукс фальшивую страничку на Facebook и распространяли порочащие сведения о своей жертве. После того, как полиция отказалась помочь, Высокий суд Лондона удовлетворил претензии истицы, обязав компанию Facebook в течение четырех недель передать адвокатам IP-адреса предполагаемых обидчиков [15].

Отчет о работе сервисов Google в части анализа запросов пользовательских данных (о предоставлении пользовательской информации) за 2011 год [16] свидетельствует о том, что от российских госорганов поступило 100 запросов на раскрытие пользовательских данных из аккаунтов и служб Google в отношении 112 пользователей. Ни один запрос не был удовлетворен.

Исследование предоставленных компанией Google статистических данных показывает, что за этот же период из Великобритании поступило 2734 запроса на 3208 пользователей, две трети запросов удовлетворено, от Германии 2491 запрос на 3786 пользователей, в среднем чуть больше половины запросов удовлетворено, от США сделан 12271 запрос на 23300 пользователей – 93% запрошенных сведений сообщены.

Зарубежная практика знает еще один способ защиты – возложение ответственности за содержащиеся клевету сообщения на компании-провайдеры. Так, Верховный суд Германии признал Google и еще несколько иностранных компаний ответственными за сведения, которые появились на некоторых немецких сайтах [17].

Такое решение суд принял, рассмотрев жалобу неназванного истца, который подал в суд на Google из-за сообщения, появившегося на сервисе для ведения блогов Blogspot. В одном из постов, в котором описывался отдых на испанской Майорке, появилось сообщение, в котором утверждалось, что истец расплатился своей кредиткой в одном из секс-клубов Майорки. В результате, поскольку блогеры, использующие Blogspot, пользуются полной анонимностью и подать иск против автора сообщения невозможно, истец возложил ответственность за него на компанию Google.

Верховный суд уточнил процедуру подобных дел о клевете в сети. Сначала пострадавший должен в комментариях обратиться к администрации блога, на котором появилось оскорбительное сообщение. После этого автор сообщения должен иметь возможность ответить на обвинение в клевете и представить дока-

зательства своих утверждений. Если реакция не последует, ответственность за такое сообщение несет сайт, на котором оно размещено.

Таким образом, выбор способа защиты нарушенных прав будет зависеть от ряда факторов: зарегистрирован ли интернет-сайт в качестве средства массовой информации, каким способом размещаются комментарии читателей (с предварительным или без предварительного редактирования), проводится ли регистрация посетителей сайта, предоставлена ли администрацией сайта возможность разместить комментарий потерпевшего. Способы защиты нарушенных распространённой информацией прав могут быть требованием об опровержении порочащих сведений и компенсации морального вреда, требованием об устранении с информационного ресурса в сети Интернет конкретной информации, требованием к провайдеру о передаче контактных данных нарушителей (информации о пользователе).

Конституция России запрещает любое проявление цензуры в информационном пространстве. Но осуществление прав и свобод человека и гражданина, в том числе реализация права на свободу слова, не должно нарушать права и свободы других лиц. Право и практика должны выработать особые способы защиты прав граждан от неограниченного информационного потока, учитывая особую природу интернет-ресурсов.

Список литературы

- СЗ РФ. 2001. №2. Ст. 163.
- Постановление Европейского суда от 1 июля 1997 г. по делу «Обершлик против Австрии» (Oberschlick v. Austria). URL: http://europeancourt.ru/uploads/ECHR_Oberschlick_v_Austria_N1_23_05_1991.pdf
- Юридическое заключение Кафедры ЮНЕСКО по авторскому праву и другим отраслям права интеллектуальной собственности по вопросу о правовой природе сайтов в сети Интернет. URL: http://www.unescochair.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=215&Itemid=18 (дата обращения: 11.06.2012).
- Информация о Постановлении ЕСПЧ от 05.05.2011 по делу «Редакция газеты «Правое дело» и Штекель (Editorial Board of Pravoye Delo and Shtekel) против Украины» (жалоба N 33014/05) // Бюллетень Европейского суда по правам человека. 2011. №11.
- Постановление ФАС Московского округа от 9 марта 2004 г. дело №КГ-А41/390-04 КГ-А41/3503-0. Документ не опубликован. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс: Судебная практика».
- Документ не опубликован. Доступ из справ.-правовой системы «Sudoved.ru».
- Федеральный закон от 27.07.2006 №149-ФЗ (ред. от 06.04.2011, с изм. от 21.07.2011) «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» // Собрание законодательства РФ. 2006. №31. Ч. 1. Ст. 3448.
- Постановление Пленума Верховного суда РФ от 15.06.2010 (ред. от 16.09.2010) №16 «О практике применения судами Закона Российской Федерации «О средствах массовой информации» // Российская газета. 2010. 18 июня.
- Документ не опубликован. Доступ из справ.-правовой системы «Sudoved.ru».
- Документ не опубликован. Доступ из справ.-правовой системы «Sudoved.ru».
- Решение Ленинского районного суда г. Ульяновска от 25 августа 2010 г. по делу №2-4564/10 // Документ не опубликован. Доступ из справ.-правовой системы «Sudoved.ru».
- Решение Басманного районного суда г. Москвы от 18 июля 2011 года. Документ не опубликован. Доступ из справ.-правовой системы «Sudoved.ru».
- Решение Замоскворецкого районного суда г. Москвы от 02 февраля 2011 года. Документ не опубликован. Доступ из справ.-правовой системы «Sudoved.ru».
- Приказ Министерства юстиции Российской Федерации от 15.03.2000 №91 «Об утверждении методических рекомендаций по совершению отдельных видов нотариальных действий нотариусами Российской Федерации» // Бюллетень Минюста РФ. 2000. №4.
- Жертва интернет-троллинга через суд обязала Facebook выдать ей адреса обидчиков. URL: http://www.imapress.spb.ru/society/society_14054.html (дата обращения: 29.06.2012).
- Отчет о работе сервисов Google. URL: <http://www.google.com/transparencyreport/userdatarequests/RU/?p=2011-12#> и <http://www.google.com/transparencyreport/userdatarequests/RU/?p=2011-06&by=> (дата обращения: 30.06.2012).
- Немецкий суд признал Google ответственным за клевету в блогах. URL: <http://pravo.ru/interpravo/news/view/63591/> (дата обращения: 30.06.2012).

Bibliography

- RF Legislation collection. 2001. №2. Ass. 163.
- European Court Determination from July 1, 1997 Engagement «Oberschlick against Austria» // URL: http://europeancourt.ru/uploads/ECHR_Oberschlick_v_Austria_N1_23_05_1991.pdf.
- UNESCO Department juridical completion concerning author right and other spheres of immaterial goods right about the question of the Internet sites' legal nature. URL: http://www.unescochair.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=215&Itemid=18 (appeal date: 11.06.2012).
- Information about European Court of Human rights Determination from 05.05.2011 Engagement «Editorial Board of Pravoye Delo and Shtekel against Ukraine» (N 33014/05) // European Court of Human rights bulletin. 2011. №11.
- Moscow Region FAS Determination from March 9, 2004 Engagement №КГ-А41/390-04 КГ-А41/3503-0. The Document is not published. Access from reference-legal system «Consultant-plus: jurisdiction».
- The Document is not published. Access from reference-legal system «Sudoved.ru».
- National law from 27.07.2006 №149-NL (vers. from 06.04.2011, with chang. from 21.07.2011) «About information, information technologies and about information protection» // RF Legislation collection. 2006. №31. P. 1. Ass. 3448.
- RF Supreme Court Plenum Determination from 15.06.2010 (vers. from 16.09.2010) №16 «About practice of using Russian Federation Law «About mass media» by judicial courts // Russian Paper. 2010. June 18.
- The Document is not published. Access from reference-legal system «Sudoved.ru».
- The Document is not published. Access from reference-legal system «Sudoved.ru».
- Lenin district court decision of Ulyanovsk from August 25, 2010. Engagement №2-4564/10 // The Document is not published. Access from reference-legal system «Sudoved.ru».
- Busman district court decision of Moscow from July 18, 2011. The Document is not published. Access from reference-legal system «Sudoved.ru».
- Zamoskvoreckii district court decision of Moscow from February 02, 2011 The Document is not published. Access from reference-legal system «Sudoved.ru».
- Command of RF Department of Justice from 15.03.2000 №91 «About affirmation of methodical recommendations on commitment of separate kinds notarial actions by notary officers of the Russian Federation // Bulletin of RF Department of Justice. 2000. №4.
- Internet-trolling victim committed Facebook to extradite addresses of offenders. URL: http://www.imapress.spb.ru/society/society_14054.html (appeal date: 29.06.2012).
- Report about services work Google. URL: <http://www.google.com/transparencyreport/userdatarequests/RU/?p=2011-12#> и <http://www.google.com/transparencyreport/userdatarequests/RU/?p=2011-06&by=> (appeal date: 30.06.2012).
- German Court admitted Google responsible for denigration in blogs // URL: <http://pravo.ru/interpravo/news/view/63591/> (appeal date: 30.06.2012).

НАУЧНЫЕ ШКОЛЫ

УДК 378(09):669.1

Филатов В.В.

ИСТОРИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НАУЧНЫХ ШКОЛ В СФЕРЕ ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА В МГТУ ИМ. Г.И. НОСОВА В 1940-х – НАЧАЛЕ 2000-х ГОДОВ

В статье рассматриваются результаты деятельности научных школ в области прокатного производства, возглавляемых учеными МГМИ-МГТУ на протяжении 1940-х – начала 2000-х годов.

Ключевые слова: научная школа, прокатное производство, внедрение новых технологий, экономический эффект.

The article deals with the results of scientific schools activity in the field of rolling industry headed by the scientists of MIMM (Magnitogorsk Institute of Mining and Metallurgy) and MSTU (Magnitogorsk State Technical University) in 1940-s – early 2000-s.

Keywords: scientific school, rolling industry, implementation of new technologies, economic effect.

Без научно-исследовательской работы, внедрения полученных результатов в производство немислимо существование ни одного высшего технического учебного заведения. Примером плодотворной связи науки и производства служит деятельность Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. На всем протяжении своей почти 80-летней истории ученые МГТУ вносили и вносят значительный вклад в дело совершенствования производственных процессов, повышения эффективности работы металлургических предприятий. В вузе сформировались научные школы на важнейших направлениях научно-технического прогресса. О научных школах в области доменного и сталеплавильного производства в МГТУ рассказывалось ранее [1. С. 87-89]. Не менее значима деятельность ученых университета, занимающихся проблемами прокатного производства.

В военные и в послевоенный период 1940-х гг. вся исследовательская деятельность ученых-прокатчиков МГМИ направлялась на подъем производительности станов, блюмингов, слябингов, выпуск оборонной продукции. В годы Великой Отечественной войны особую значимость приобрела научная школа, возглавляемая профессором Михаилом Ивановичем Бояршиновым. Он активно включился в организацию производства танковой брони на Магнитогорском металлургическом комбинате. При его содействии и консультациях была воплощена в жизнь актуальная для того времени идея прокатки танковой брони на блюминге №3. Кроме того, по предложению М.И. Бояршинова температурный предел был повышен до 1050 градусов и на прокатку одного слитка стали затрачивать всего 6,5 минуты. Производительность блюминга от этого нововведения резко поднялась [2. С. 72].

Научная школа во главе с Александром Петровичем Чекмаревым уделяла большое внимание технологическим вопросам прокатного производства, созданию новых скоростных и температурно-деформационных режимов обработки металлов давлением, разработке

новых калибровок прокатных валков, производству экономичных профилей, повышению точности проката. Ученые МГМИ внесли свой весомый вклад в то, что по сравнению с 1937 г. производство проката на ММК увеличилось в 1945 г. в 1,8 раза (с 1116,7 до 2028,2 тыс. т) [2. С. 59, 83].

Крупным организатором науки проявил себя в 1950-1960-е годы ректор МГМИ, профессор Николай Ефимович Скороходов. Под его руководством проводились исследования по совершенствованию калибровок для прокатки рельсов, балок и строительных профилей. Он внес значительный вклад в улучшение технологии прокатки горяче- и холоднокатаных листов для автомобиле- и тракторостроения; по теоретическому изучению процессов деформации при прокатке сортового металла, горячекатаных листов и холоднокатаной ленты из пружинных марок стали.

В 1950-е годы хорошо был известен научный коллектив, возглавляемый Михаилом Ионовичем Куприным. Научно-практическая деятельность М.И. Куприна была направлена на повышение качества холоднокатаных листов и экономии электроэнергии при их производстве. Результаты деятельности научных школ МГМИ сказались на том, что в течение 1946-1959 гг. выпуск проката на ММК возрос с 2430 до 5805 тыс. т. В конце 1950-х гг. выработка на одного прокатчика была вдвое выше, чем на Челябинском, и почти в четыре раза выше, чем на Златоустовском металлургических заводах [2. С. 128].

В 1960-е годы плодотворно участвовали в научных исследованиях ученые института во главе с Григорием Эммануиловичем Аркулисом. Он являлся создателем научной школы – совместная пластическая деформация разных металлов. Г.Э. Аркулис имел свыше 20 авторских свидетельств, среди них: отливка двухслойных прокатных валков одноковшевым способом, защитное устройство для изложниц и поддонов, чугунные мельничные валки с залитой стальной осью, способ изготовления биметаллической проволоки, способ очистки поверхностей металлических изделий.

В то время в МГМИ работал Никита Васильевич Литовченко – специалист в области теории, техники и технологии прокатного производства, Он занимался вопросами прокатки толстолистовой стали, настройки прокатных станов, технологии прокатки и анализа технико-экономических показателей работы непрерывных мелкосортных и проволочных станов, калибровки валков и технологией прокатки периодических профилей арматурной стали.

Существенный вклад в теорию и практику прокатного производства внес научный коллектив, возглавляемый Михаилом Георгиевичем Поляковым. Он являлся основателем нового научного направления в теории обработки металлов давлением – теории деформации в многовалковых калибрах. Большой цикл научных и практических работ, выполненных М.Г. Поляковым и его учениками, посвящен исследованиям деформации составляющих сталемедной биметаллической проволоки. Научные разработки М.Г. Полякова нашли применение на металлургических предприятиях Магнитогорска, Челябинска, Нижнего Тагила, Орла, а также на предприятиях строительной отрасли.

В 1970-е годы продолжают развитие прежние научные направления и появляются ученые, с именами которых связано создание новых научных школ, способствовавших развитию научно-технического прогресса. В те годы в МГМИ успешно действовала научная школа под руководством Юрия Ивановича Кокоткина – известного специалиста в области теории и практики метизного производства. Его научные исследования связаны с областью специальных технологий метизного производства, оборудованием и способами изготовления моно- и биметаллической проволоки, лент и фольги из малопластичных материалов с минимальными нарушениями сплошности: вакуумплотные фольги из бериллия и его сплавов, пористые фольги из алюминия, меди, титана, циркония, углеродистой и нержавеющей стали, применяемые в качестве геттеров, эмиттеров, катализаторов, фильтров.

Научные исследования Б.А. Никифорова посвящались проблемам развития сортопрокатного производства, проволочных станов, инструмента для обработки металлов давлением и процессов бескалибровой прокатки.

Деятельность докторов наук и профессоров МГМИ помогла производству проката на Магнитогорском металлургическом комбинате поднять за 1960-1977 гг. с 6386 до 11928 тыс. т [2. С. 180].

В 1980-е годы основали новые научные школы ряд видных ученых МГМИ. Среди них Виктор Владимирович Мельцер-Шафран. Им были поставлены и решены важные теоретические вопросы, связанные с исследованием причин возникновения осевых давлений в листопркатных клетях кварто, разработаны методики расчетного определения профилировки валков тонколистового стана горячей прокатки.

Филипп Данилович Кашенко был одним из ведущих специалистов в области теории и технологии износостойкой наплавки и напыления, а также в области повышения надежности и долговечности прокатных валков. Он выявил механизм разрушения технологи-

ческого инструмента при деформировании горячего металла; предложил методику прогнозирования свойств наплавленного металла и выбора оптимальных систем легирования и на этой основе создал целую гамму износостойких экономно-легированных наплавочных материалов; разработал теоретические основы расчета и конструирования прокатных валков с упругими осями и принципиально новый метод литья профилированных чугунных валков в форме с регулируемым теплообменом.

Значительный вклад в науку вносит Геннадий Семенович Гун. Он является крупным специалистом в области создания новых технологий обработки металлов давлением, оценки качества продукции и технологий. Научные исследования Г.С. Гуна и его учеников принадлежат к научному направлению – физико-химические основы конструирования и производства слоистых и порошковых материалов, функциональных покрытий и изделий. Г.С. Гун способствовал развитию порошкового производства и производства автозапчастей на Магнитогорском металлургическом комбинате.

Профессор Петр Иванович Денисов создал важное научное направление, связанное с экспериментальной механикой и технологической пластичностью. Научные исследования П.И. Денисова явились важным вкладом в переоснащение технологического процесса прокатного производства на Магнитогорском металлургическом комбинате и Магнитогорском калибровочном заводе.

Научная школа Владимира Гавриловича Паршина исследует теорию и практику холодной объемной штамповки на автоматическом оборудовании. В.Г. Паршин разработал технологию производства болтов крепления башмаков гусениц тяжелых тракторов, шелевых сеток из нержавеющей стали, болтов крепления тьюбингов метрополитена. Он руководитель научного направления по разработке теории и методов расчета процессов конечной пластической деформации с учетом упрочнения и неоднородности свойств обрабатываемых материалов.

1990-е годы стали временем новых исследований в области прокатного производства, появления новых научных школ. Виктор Матвеевич Салганик является одним из создателей научной школы – математическое моделирование и развитие техники и технологии эффективных процессов производства проката высокого качества и изделий из него. Прикладная научно-исследовательская деятельность В.М. Салганика связана, прежде всего, с проблемами реконструкции и развития Магнитогорского металлургического комбината. Под научным руководством В.М. Салганика было найдено принципиально новое решение проблемы производства крупногабаритных тел вращения путем асимметричной горячей прокатки. Этим методом изготовлены новые кожухи конвертеров с многомиллионным экономическим эффектом.

Под руководством Сергея Арсеньевича Тулупова сложилось и успешно развивается новое научное направление – адаптивное моделирование формоизменения в калибрах. Леониду Сергеевичу Белевскому

удалось разработать принципиально новые способы и оборудование для защиты, упрочнения и модификации поверхности металлов, которые нашли применение в России и за рубежом.

Николай Николаевич Огарков возглавляет новую научную школу – развитие теоретических и технологических основ обработки инструмента и деформируемого металла с целью получения продукции с высококачественной поверхностью. По его предложению на Магнитогорском металлургическом комбинате были внедрены вальцетокарные резцы с испарительным охлаждением, была усовершенствована технология механической обработки прокатных валков, обеспечивающая повышение производительности и улучшение качества поверхностного слоя.

Виктор Петрович Анцулов принадлежит к научному направлению по разработке новых экономически и технически целесообразных методов модификации поверхности изделий. Научные исследования В.П. Анцулова направлены на разработку и внедрение новых технологий с целью повышения долговечности агрегатов прокатных станов Магнитогорского металлургического комбината и качества очистки полос от окалины в потоке горячей прокатки на металлургических комбинатах Магнитогорска, Липецка, Череповца и Тимертау (Казахстан).

Олег Сергеевич Железков является одним из ведущих специалистов по исследованию процессов обработки металлов давлением с использованием вариационных методов. Научные исследования О.С. Железкова, связанные с разработкой и совершенствованием технологических процессов изготовления крепежных изделий прогрессивной конструкции, внедрены на Магнитогорских метизно-металлургическом и калибровочном заводах.

Руководители Магнитогорского металлургического комбината активно участвуют в создании научных школ. Их исследования – пример связи теории и практики. Председатель совета директоров ОАО «ММК» Виктор Филиппович Рашников впервые создал научно обоснованный комплекс технических и технологических решений, обеспечивающих радикальное совершенствование и развитие системы «сталь – прокат – металлопродукция». Внедрение разработанной им сквозной технологии позволило обеспечить высокие потребительские характеристики выпускаемой металлопродукции и повышение ее конкурентоспособности на мировом рынке, значительно улучшить экономические показатели – себестоимость и рентабельность. Андрей Андреевич Морозов занимается проблемами повышения эффективности производства сортового проката и обеспечения качества и конвертируемости металлопродукции в условиях рынка.

Научные разработки Юрия Васильевича Жиркина принадлежат к научному направлению, связанному с исследованиями надежности механических систем. Исследования Нины Георгиевны Шемшуровой относятся к научному направлению – развитие теории и совершенствование технологии гнутых профилей. Виктор Григорьевич Дорогобид занимается проблемами совместной пластической деформацией разных

металлов. Научные изыскания Виктора Георгиевича Шеркунова относятся к уральской научной школе обработчиков давлением.

Работа этих и других ученых университета в немалой степени способствовала тому, что за 1994-2000 гг. объем производства проката на ММК возрос в 1,6 раза – с 5503,7 до 8778 тыс.т. Трудозатраты в человеко-часах на комбинате составили 7,4. Это был самый низкий показатель среди всех предприятий черной металлургии страны в 2000 г. [3. С. 117, 376, 383].

Начало 2000-х годов для МГТУ стало новым этапом в развитии научных исследований в области прокатного производства. Игорь Геннадьевич Гун создал самостоятельное научное направление, посвященное разработке теории, новых технологий и конструкций автомобильных компонентов. Научные исследования И.Г. Гуна по разработке и развитию нового способа широкополосной горячей прокатки с петлеобразованием раскатов на промежуточном рольганге стана были впервые в мире внедрены на Магнитогорском металлургическом комбинате.

Исследования Леонида Евсеевича Кандаурова посвящены получению сортовых профилей с использованием гладких валков в черновых и промежуточных клетях сортовых станов. Вадим Анатольевич Кулеша разработал научные основы формирования свойств высококачественных метизов и создание эффективных технологий их производства.

Деятельность Игоря Юрьевича Мезина относится к научному направлению – холодное пластическое деформирование структурно-неоднородных материалов. При его активном участии был создан участок порошковой металлургии на Магнитогорском металлургическом комбинате.

Научная школа Александра Моисеевича Песина направлена на развитие теории и технологии листовой прокатки. Результаты научной деятельности А.М. Песина нашли применение на Магнитогорском металлургическом комбинате: внедрение технологии производства деталей тел вращения заданной кривизны и режима прокатки ленты из подката с асимметричным относительно вертикальной плоскости поперечным сечением.

К кругу научных интересов Сергея Иосифовича Платова относится совершенствование технологических процессов производства катанки, волочения проволоки, производства плющенных лент специального назначения, повышение долговечности соответствующего оборудования. Валерий Леонтьевич Стебляк является специалистом в области пластических деформаций разнородных металлов. Он основал новое научное направление в теории и технологии сварки давлением разнородных металлов, обработки металлических поверхностей, включая очистку и формирование функциональных покрытий.

Олег Николаевич Тулупов – известный специалист в области сортовой прокатки. Под его руководством в Магнитогорском государственном техническом университете успешно развивается новое научное направление – моделирование и развитие технологических процессов сортовой прокатки.

Основная научная деятельность Вениамина Александровича Харитоновича сосредоточена на направлении совершенствования существующих, разработки и внедрения новых технологических процессов изготовления проволоки различного назначения и изделий из нее.

Алексей Георгиевич Корчунов достиг высоких научных результатов в развитии теории технологических процессов обработки метизных изделий малыми пластическими деформациями.

Исследования Михаила Витальевича Чукина относятся к научному направлению – пластическая деформация композиционных и порошковых материалов. Его научные интересы связаны с изучением совместной пластической деформации некомпактных сред, слоистых композиционных покрытий функционального назначения. В настоящее время результатом деятельности возглавляемой им научной школы совместно с ОАО «ММК-МЕТИЗ» стало выполнение государственного контракта по теме «Создание высоко технологического производства стальной арматуры для железобетонных шпал нового поколения на основе инновационной технологии термометаллодеформационного наноструктурирования».

В настоящее время в МГТУ развиваются основные научные направления по обработке металлов давлением: теория сортопрокатного производства и калибровки сортовых профилей; теория и практика листопрокатного производства; теория и практика деформации в многовалковых калибрах; разработка эффективного сортамента и оптимальных технологий метизного производства; физико-химические основы

деформационных технологий создания функциональных покрытий; управление качеством изделий и технологий; деформационные технологии производства слоистых и дисперсно-упрочненных композиционных материалов; деформационные технологии получения и обработки наноструктурных изделий [4. С. 21-25]. Имеется уверенность в том, что традиции предшественников ученые МГТУ преумножат в новых научных школах. Об этом свидетельствуют факты современного развития исследований в области прокатного производства.

Список литературы

1. Филатов В.В Развитие научных школ в области доменного и сталеплавленного производства в МГТУ им. Г.И. Носова и техническое перевооружение Магнитогорского металлургического комбината (1940-е – 2000-е гг.) // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2012. №2. С. 87-89.
2. Галигузов И.Ф., Чурилин М.Е. Флагман отечественной индустрии. История Магнитогорского металлургического комбината имени В.И. Ленина. М.: Мысль, 1978. 251 с.
3. Запарий В.В. Черная металлургия Урала в 70-80-е годы XX века. Екатеринбург: Банк культурной информации: УрО РАН, 2003. 552 с.
4. Салганик В.М., Чукин М.В. История развития и основные направления деятельности магнитогорской школы обработки металлов давлением // Черные металлы. 2011, июнь. Специальный выпуск. С. 21-25.

Bibliography

1. Filatov V.V. The development of scientific schools in the blast furnace and steelmaking production in the MSTU named after G.I. Nosov and technical modernization of the Magnitogorsk Iron and Steel Works (1940-2000) // Vestnik of MSTU named after G.I. Nosov. 2012. №2. Pp. 87-89.
2. Galiguzov I.F., Churilin M.E. Leader of native industry. History of Iron and Steel Works named after V.I. Lenin. Publisher M.: Mysl, 1978. 251 p.
3. Zapariy V.V. Iron and steel industry of the Urals in the 70-80 ears of the XXth century. Ekaterinburg: Bank of cultural information: UrO RAS, 2003. 552 p.
4. Salganik V.M., Chukin M.V. History of development and basic activity trends of the Magnitogorsk school of treating metals by pressure // Ferrous metals. 2011. June. Special issue. P. 21-25.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Акшенцев Федор Иванович – начальник бюро труда, заработной платы и планирования СПР Сибайского филиала ОАО «Учалинский ГОК», Республика Башкортостан, Тел.: (34775) 2-20-06.

Андреев Сергей Михайлович – канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой «Промышленная кибернетика и системы управления» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: оптимизация управления технологическими процессами металлургического производства. Тел. 8(3519)298527. E-mail: pk_su@bk.ru.

Аникин Алексей Игоревич – аспирант кафедры «Литейное производство» Института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г.Красноярск. Направление исследований: компьютерная металлография. E-mail: Anikin24081989@mail.ru.

Аникина Валентина Ильинична – канд. техн. наук, доц. кафедры «Металловедение и термическая обработка металлов» ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г.Красноярск. Направление исследований: теория кристаллизации металлов, сплавов и солевых систем. Тел.: (391) 213-32-86. E-mail: Anikin24081989@mail.ru.

Асланян Ирина Рудиковна – канд. техн. наук, доц. Уфимского государственного авиационного технического университета. Направление исследований: контактное взаимодействие, трибология, компьютерное моделирование. E-mail: asirina@rambler.ru.

Ахметов Тимур Уралович – инженер-наладчик ООО НПО «Автоматика», г.Магнитогорск. Направление исследований: автоматизация технологических процессов и производств в металлургии. Тел. 8(3519)29-85-58. E-mail: pksu035@gmail.com.

Барышников Михаил Павлович – канд. техн. наук, проф. кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: композиционные материалы, наноматериалы, покрытия. Тел.: (351) 29-84-81. E-mail: arcosmag@mail.ru.

Беляев Сергей Владимирович – д-р техн. наук, доц., зав. кафедрой «Литейное производство» Института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г.Красноярск. Направление исследований: теория и технология совмещенных процессов литья и обработки металлов давлением. Тел.: 8(391) 213-36-21. E-mail: 24-48-12@mail.ru.

Бильдушкинов Евгений Владимирович – ведущий сотрудник лаборатории технологий закладки института Якутнипроаламаз, г.Мирный, респ. Саха (Якутия). Тел: (41136) 9-04-92. E-mail: bildushkinov@alrosa.ru.

Бойко Артём Борисович – аспирант кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: композиционные материалы, наноматериалы, покрытия. Тел.: (351) 29-84-81. E-mail: boyko.ab@mail.ru.

Бурмистров Константин Владимирович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Открытая разработка месторождений полезных ископаемых» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519) 29-85-75. E-mail: burmistrov_kv@mail.ru.

Гавришев Сергей Евгеньевич – д-р техн. наук, проф. кафедры «Открытая разработка месторождений полезных ископаемых» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государ-

ственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519) 29-85-75. E-mail: ormpi-cg@mail.ru.

Галдин Михаил Сергеевич – студент гр. АМ-07-1 ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: автоматизация технологических процессов и производств в металлургии. E-mail: mike-galdin@mail.ru.

Голубчик Эдуард Михайлович – канд. техн. наук, доц. кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: (3519) 29-84-81. E-mail: golub66@mail.ru.

Гулин Александр Евгеньевич – аспирант кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: (3519) 29-84-81. E-mail: walter_chel@mail.ru.

Гун Геннадий Семенович – д-р техн. наук, проф. кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519)235766.

Денисов Сергей Владимирович – д-р техн. наук, начальник Центральной лаборатории контроля ОАО «ММК», г.Магнитогорск.

Дроздова Татьяна Николаевна – канд. техн. наук, доц. кафедры «Металловедение и термическая обработка металлов им. В.С. Биронта» Института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г.Красноярск. Направление исследований: инертные аноды. E-mail: dtn3101@bk.ru.

Жуков Роман Юрьевич – вед. инженер ОКБ Гидропресс, г.Подольск Московской области.

Жумашев Калкман Жумашевич – д-р техн. наук, зав. лабораторией «Физико-химия комплексного использования конденсированных отходов», Химико-металлургический институт им. Ж.Абишева, Республика Казахстан, г.Караганда. Тел.: 8 (7212) 43-19-73. E-mail: innovaciya_zh@mail.ru.

Журавлева Елена Николаевна – мл. науч. сотрудник кафедры «Металловедение и термическая обработка металлов им. В.С. Биронта» Института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г.Красноярск. Направление исследований: инертные аноды. E-mail: elenalyndina@mail.ru.

Жусупбеков Бакытбек Толобекович – канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник института машиноведения Национальной академии наук Кыргызской Республики. E-mail: bakit.j@mail.ru

Зинько Бронислав Филиппович – канд. техн. наук, зав. сектором выплавки трубной стали ЦТС-4 ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», г.Москва. Тел.: 8(495) 777-93-31, доб. 73-28.

Казанцев Александр Георгиевич – д-р техн. наук, зав. отделом прочности ОАО НПО «ЦНИИТМАШ», г.Москва. Тел.: 675-89-05. E-mail: kazantsev_a_g@mail.ru.

Калимуллин Евгений Анварович – начальник Сибайского подземного рудника Сибайского филиала ОАО «Учалинский ГОК», Республика Башкортостан. Тел. (34775) 4-20-01.

Каримова Люция Монировна – канд. хим. наук, ст. науч. сотр. Химико-металлургического института, г. Караганда, Республика Казахстан. Направление исследований: цветная металлургия. Тел. 43-31-61. E-mail: lutsia.08@mail.ru.

Катренов Бауыржан Боранбаевич – младший научный сотрудник лаборатории «Физико-химия комплексного использования конденсированных отходов», Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева, Республика Казахстан, г. Караганда. Тел.: 8 (7212) 43-19-73. E-mail: baur-8-3@mail.ru.

Кирик Сергей Дмитриевич – д-р хим. наук, проф. кафедры «Металловедение и термическая обработка металлов им. В.С. Биронта» Института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Направление исследований: инертные аноды. Тел. (3912)495663. E-mail: Kiriksd@yandex.ru.

Кириллов Дмитрий Сергеевич – начальник горного управления АК «АЛРОСА», г. Мирный, респ. Саха (Якутия). Тел: (41136) 9-03-45. E-mail: KirillovDS@alrosa.ru.

Кольга Анна Анатольевна – аспирант Уральского государственного экономического университета, г. Екатеринбург. Направление исследований: маркетинг. E-mail: kolga_anna@mail.ru.

Корчунов Алексей Георгиевич – д-р техн. наук, доц., зав. кафедрой механического оборудования металлургических заводов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: (3519) 29-84-51. E-mail: agkorchunov@mail.ru.

Косырев Константин Львович – д-р техн. наук, проф., Генеральный директор ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», г. Москва. Тел.: 8(495) 777-93-02.

Кочкина Александра Владимировна – ст. преп. кафедры электроснабжения промышленных предприятий института энергетики и автоматизации ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: расчет и анализ оптимальных режимов систем электроснабжения промышленных предприятий. Тел.: 8 (3519) 29-85-81. E-mail: aleksandra-khlamova@yandex.ru.

Крутикова Ирина Александровна – ведущий инженер Управления главного металлурга ОАО «Уралмашзавод», аспирант ОАО «УИМ», г. Екатеринбург. Тел: (343)327-18-97. E-mail: I.Krutirova@uralmash.ru.

Курбан Виктор Васильевич – канд. техн. наук, ведущий инженер Центральной лаборатории контроля ОАО «ММК», г. Магнитогорск.

Лаптева Татьяна Александровна – аспирант кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519) 29-84-82.

Макарова Виктория Александровна – экономист ОАО «НТЦ-НИИОГР», г. Челябинск. Тел. (8-351) 265-55-04. E-mail: makarova_niogr@mail.ru.

Малафеев Алексей Вячеславович – канд. техн. наук, доц. кафедры электроснабжения промышленных предприятий института энергетики и автоматизации ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: управление эксплуатационными режимами систем электроснабжения. Тел.: 8 (3519) 29-85-81. E-mail: malapheev_av@mail.ru.

Мещерякова Татьяна Радиковна – канд. юр. наук, зав. кафедрой гражданско-правовых дисциплин ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: государственная гражданская служба. Тел. 8(3519)29-85-62. E-mail: pravo_mgtu@mail.ru.

Монтянова Антонина Николаевна – доктор технических наук, генеральный директор ООО «Технологии закладки», г. Москва. E-mail: 22fill56@bk.ru.

Мошкун Владимир Викторович – аспирант кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519)29-84-49. E-mail: moshkunov@inbox.ru.

Обухова Татьяна Геннадьевна – ст. преподаватель кафедры «Промышленная кибернетика и системы управления» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: оптимизация управления технологическими процессами металлургического производства. Тел. 8(3519)298558. E-mail: tgobuhova@gmail.com.

Панова Евгения Александровна – ассистент кафедры электроснабжения промышленных предприятий института энергетики и автоматизации ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: расчет и анализ ремонтных и аварийных несимметричных режимов систем электроснабжения. Тел.: 8 (3519) 29-85-81. E-mail: panova.ea@gmail.com.

Панфилова Людмила Михайловна – канд. техн. наук, гл. науч. сотр. ОАО «УИМ». Направление исследований: создание конструкционных материалов, энерго- и ресурсосберегающих, экологически чистых технологий производства. г. Екатеринбург. Тел: (343)375-68-21. E-mail: lmpfan@mail.ru.

Парсункин Борис Николаевич – д-р техн. наук, действительный член АИН им. А.М. Прохорова, проф. кафедры «Промышленная кибернетика и системы управления» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: оптимизация управления технологическими процессами металлургического производства. Тел. 8(3519)298432. E-mail: pksu035@gmail.com.

Пашнева Татьяна Владимировна – канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры ВМФММ Воронежского государственного технического университета. E-mail: Tat120675@yandex.ru.

Полицарпова Мария Геннадьевна – канд. экон. наук, доц. кафедры математических методов в экономике ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8 (3519) 23-03-74. E-mail: marjyshka@rambler.ru.

Полякова Марина Андреевна – канд. техн. наук, доц. кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: m.polyakova-64@mail.ru.

Пономарева Светлана Васильевна – зав. лаб. кафедры «Металловедение и термическая обработка металлов им. В.С. Биронта» Института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Направление исследований: инертные аноды. E-mail: silverya@mail.ru.

Попов Антон Олегович – студент 5 курса кафедры «Обработка металлов давлением» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: aoropov90@yandex.ru.

Рааб Арсений Георгиевич – мл. науч. сотрудник Уфимского государственного авиационного технического университета. Направление исследований: интенсивная пластическая деформация, компьютерное моделирование. E-mail: arsenchik@inbox.ru.

Рааб Георгий Иосифович – д-р техн. наук, ст. науч. сотрудник, руководитель лаборатории технологии интенсивной пластической деформации Уфимского государственного авиационного технического университета. Направление исследований: интенсивная пластическая деформация, обработка металлов давлением, компьютерное моделирование. E-mail: giraab@mail.ru.

Рубин Геннадий Шмульевич – канд. техн. наук, доц. кафедры прикладной математики ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет». Тел. (3519) 359363.

Руднева Ирина Геннадьевна – канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры физики и химии Военного авиационного инженерного университета (г. Воронеж). E-mail: irrudneva@mail.ru

Румянцев Михаил Игоревич – канд. техн. наук, проф. кафедры «Обработка металлов давлением» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: mihigrum@rambler.ru.

Селиванов Евгений Николаевич – д-р техн. наук, директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук (ИМЕТ УрО РАН), г. Екатеринбург. Тел.: (343) 267-91-24 E-mail: pcmmlab@mail.ru.

Семенов Владимир Иванович – канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник Уфимского государственного авиационного технического университета. Направление исследований: интенсивная пластическая деформация, обработка металлов давлением, трибология. E-mail: semenov-vi@rambler.ru.

Смирнов Леонид Андреевич – д-р техн. наук, проф., академик РАН, генеральный директор ОАО «УИМ», г. Екатеринбург. Тел.: (343) 374-14-33. E-mail: uim@ural.ru.

Смирнов Павел Николаевич – канд. техн. наук, ведущий инженер Центральной лаборатории контроля ОАО «ММК», г. Магнитогорск.

Столяров Александр Михайлович – д-р техн. наук, проф. кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519)29-84-49. E-mail: mcm@magtu.ru.

Субботина Елена Владимировна – доц. кафедры гражданско-правовых дисциплин ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: осуществление субъективных прав. E-mail: elena.pravo2012@yandex.ru.

Султаналиев Бактыбек Сабырбекович – д-р техн. наук, старший научный сотрудник института машиноведения Национальной академии наук Кыргызской Республики.

Сушко Татьяна Ивановна – канд. техн. наук, доцент кафедры ФХТЛП Воронежского государственного технического университета. E-mail: Tane2020102010@mail.ru.

Телегин Вячеслав Евгеньевич – аспирант кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет им. Г.И. Носова», ведущий инженер Центральной лаборатории контроля ОАО «ММК».

Томилина Нурия Гумаровна – учебный мастер кафедры «Электротехника и электротехнические системы» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519) 29-84-16. E-mail: t.nurgia@yandex.ru.

Трильев Антон Евгеньевич – инженер ОАО «ИнЭКО», г. Челябинск. Тел.: (351) 265-55-04. E-mail: ineco@bk.ru.

Усков Данил Игоревич – аспирант кафедры «Литейное производство» Института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный универ-

ситет», г. Красноярск. Направление исследований: синтез сплавов. E-mail: uskov59@mail.ru.

Усков Игорь Васильевич – канд. техн. наук, доц., докторант ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Направление исследований: разработка новых сплавов с заданными свойствами. Тел.: 8 (391) 206-37-54. E-mail: uskov59@mail.ru.

Феклисов Станислав Ильич – д-р техн. наук, гл. науч. сотрудник отдела сварки ОАО НПО «ЦНИИТМАШ», г. Москва.

Филатов Владимир Викторович – д-р ист. наук, проф., зав. кафедрой истории и социологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: история науки и техники. Тел. (3519) 29-85-35. E-mail: v.philatov@mail.ru.

Харитонов Вениамин Александрович – проф. кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519) 29-84-82. E-mail: emaleevadg@mail.ru.

Чевская Ольга Николаевна – ведущий научный сотрудник ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», г. Москва. Тел.: 8(495) 777-93-31, доб. 78-40.

Ченгелия Рудольф Константинович – младший научный сотрудник ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», г. Москва. Тел.: 8(495) 777-93-31, доб. 73-28.

Чукин Михаил Витальевич – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследования: композиционные материалы, наноматериалы, покрытия. Тел.: (351) 29-85-26. E-mail: m.chukin@mail.ru.

Шишов Андрей Андреевич – аспирант кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519) 298526.

Штауб Иван Валериевич – заведующий лабораторией технологий закладки института Якутнипроалмаз, г. Мирный, респ. Саха (Якутия). Тел: (41136) 9-04-92. E-mail: shtaubiv@alrosa.ru.

Шубин Игорь Геннадьевич – канд. техн. наук, заместитель декана факультета технологий и качества ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: Shubin64@mail.ru.

Шурыгин Владимир Иванович – главный калибровщик ОАО «ММК», г. Магнитогорск. E-mail: shurygin_74@mail.ru.

Щербakov Александр Сергеевич – студент Воронежского государственного технического университета. E-mail: Tat120675@yandex.ru.

THE INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ahmetom Timur Uralovich – service engineer Limited Liability Company Scientific and Production Association «Automatica». The direction of research: the automation of technological processes and production in the steel industry. Phone: 8(3519)298558. E-mail: pksu035@gmail.com.

Akshentsev Fedor Ivanovich – chief of bureau of work, salary and planning of the Sibai underground mine PLC «Uchalinsky GOK», Republic of Bashkortostan, city of Sibay. Phone: (34775) 2-20-06.

Andreev Sergey Mihailovich – candidate of technical science, director of Industrial cybernetics and control systems department of Magnitogorsk State Technical University by G.I.Nosov. The direction of research: optimization of the process control of metallurgical production. Phone: 8(3519)29-85-27. E-mail: pk_su@bk.ru.

Anikin Alexey Igorevich – graduate student of «Foundry engineering», Institute of Non-Ferrous Metals and Materials, FSEI HPE «Siberian Federal University», Krasnoyarsk. Research fields: computer metallography. E-mail: Anikin24081989@mail.ru.

Anikina Valentina Ilyinichna – Cand.Sc. Engineering, assistant professor of the department «Metallurgy and Heat Treatment of Metals» in Siberian Federal University», Krasnoyarsk. Research fields: theory of crystallization of metals, alloys and salt systems. Phone: (391) 213-32-86. E-mail: Anikin24081989@mail.ru.

Aslanyan Irina Rudikovna – Ph.D., Assistant Professor. Ufa State Aviation Technical University, contact interaction, tribology, computer simulation.

Baryshnikov Mikhail Pavlovich – candidate of the technical sciences, acting as associate prof. at the department Engineering and metallurgical technologies of the FSBEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov». Phone: (351) 298481. E-mail: arcosmag@mail.ru.

Belyaev Sergey Vladimirovich – Doctor of Technical Science, head of the Department «Foundry engineering», Institute of Non-Ferrous Metals and Materials Science, FSEI HPE «Siberian Federal University, Krasnoyarsk. Research fields: theory and technology of the process of combine rolling and extrusion from the aluminium alloys. Phone: 8(391) 213-36-21. E-mail: 244812@mail.ru.

Bil'dushkinov Evgeniy Vladimirovich – principal specialist of Laboratory of Backfilling Methods YAKUTNIPROALMAZ Institute, Mirny, rep. Sakha (Yakutia). Phone: (41136) 9-04-92. E-mail: bildushkinov@alrosa.ru.

Boyko Artem Borisovich – post graduate student at the department Engineering and metallurgical technologies of the FSBEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (351) 298481. E-mail: boyko.ab@mail.ru.

Burmistrov Konstantin Vladimirovich – cand. sc., docent of the department «Mining opencast of mineral resources» at the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519) 29-85-75. E-mail: burmistrov_kv@mail.ru.

Chengeliya Rudolph Konstantinovich – research assistant FSUP «CNIIChermet named after I.P. Bardina», Moscow. Phone: 8(495) 777-93-31, доб. 73-28.

Chevskaya Olga Nikolaevna – leading scientific officer FSUP «CNIIChermet named after I.P. Bardina», Moscow. Phone: 8(495) 777-93-31, доб. 78-40.

Chukin Mikhail Vitalevich – doctor of technical sciences, professor, head at department Engineering and metallurgical technologies of the FSBEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov». Areas of research: metal forming processes, engineering technology. Phone: (351) 29-85-26. E-mail: m.chukin@mail.ru.

Denisov Sergei Vladimirovich – Doctor of Technical Sciences, head of the central laboratory control of OJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works».

Drozdova Tatiana Nikolaevna – candidate of the technical sciences, lecturer of the Department of metallurgy and heat treatment of metals it. V.S. Biront, at the Institute of Nonferrous Metals and Materials Science FSEI HPE «Siberian Federal University», Krasnoyarsk. Areas of research: inert anodes. E-mail: dtn3101@bk.ru.

Feklistov Stanislav Ilych – Doctor of technical science, senior scientific leader at the PJSC STA Central Research Institute of Manufacturing Engineering «TSNIITMASH», Moscow.

Filatov Vladimir Viktorovich – Dr Sci.History, Professor, Head of the Department of History and Sociology FSBEI HPE «Magnitogorsk state technical university after G.I.Nosov». Areas of research: The history of science and technology. Phone: (3519) 29-85-35. E-mail: v.philatov@mail.ru.

Galdin Mikhail Sergeevich – student of the group AM-07-1 of Magnitogorsk State Technical University by G.I.Nosov. The direction of research: the automation of technological processes and production in the steel industry. E-mail: mike-galdin@mail.ru.

Gavrishev Sergey Evgenyevich – Doctor of Technical Sciences, professor, of the department «Mining opencast of mineral resources» at the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519) 29-85-75. E-mail: ormpi-cg@mail.ru.

Golubchik Eduard Mikhailovich – candidate of science (technology), associate professor of Machine-building and Metallurgical Technologies Department FSBEI HPE «Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov». Phone: (3519) 29-84-81. E-mail: golub66@mail.ru.

Gulin Alexandr Evgenyevich – the graduate student of Machine-building and Metallurgical Technologies Department FSBEI HPE «Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov». Phone: (3519) 29-84-81. E-mail: walter_chel@mail.ru.

Gun Gennadiy Semenovich – doctor of engineering science, professor of the Mechanical Engineering and Metallurgical Technologies department «Magnitogorsk State Technical University named by G.I. Nosov». Phone: (3519)298526.

Kalimullin Evgeniy Anvarovich – chief of Sibai underground mine PLC «Uchalinsky GOK»; Republic of Bashkortostan. Phone: (34775) 4-20-01; (34775) 4-20-06.

Karimova Lyutsiya Monirovna – candidate of technical sciences, elder research scientist Chemical and metallurgical Institute, c.Karaganda, Kazakhstan. Areas of research: nonferrous metallurgy. Phone: 43-31-61. E-mail: lutsia.08@mail.ru.

Katrenov Bauyrzhan Boranbaevich – junior research engineer of laboratory «Physics–chemistry of the complex use condensed waste», Chemical-Metallurgical institute named after Zh. Abishev. Phone: 8 (7212) 43-19-73. E-mail: baur-8-3@mail.ru.

Kazantsev Aleksander Georgievich – Doctor of technical science, professor, the chief of strength department at the PJSC STA Central Research Institute of Manufacturing Engineering «TSNIITMASH», Moscow. Phone: 675-89-05. E-mail: kazantsev_a_g@mail.ru.

Kharitonov Veniamin Aleksandrovich – candidate of science (technology), professor, professor of machinebuilding and metallurgical department FSEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519) 29-84-82. E-mail: emaleevadg@mail.ru

Kirik Sergei Dmitrievich – Doctor of Chemical Science, professor of the Department of metallurgy and heat treatment of metals it. V.S. Biront, at the Institute of Nonferrous Metals and Materials Science FSEI HPE «Siberian Federal University»,

Krasnoyarsk. Areas of research: inert anodes. Phone: (3912)495663. E-mail: Kiriksd@yandex.ru.

Kirillov Dmitry Sergeevich – chief of mountain management ALROSA OJSC, Mirny, rep. Sakha (Yakutia). Phone: (41136) 9-03-45. E-mail: KirillovDS@alrosa.ru.

Kochkina Aleksandra Vladimirovna – industrial electric power supply chair senior lecturer in State educational establishment of higher vocational education FSBEI HPE «Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov». Research area: electric power supply system optimal operating conditions calculation and analysis. Phone: 8 (3519) 29-85-81. E-mail: aleksandra-khlamova@yandex.ru.

Kolga Anna Anatolievna – postgraduate student at the Ural State University of Economics, Yekaterinburg. Areas of research: marketing. E-mail: kolga_anna@mail.ru.

Korchunov Aleksei Georgievich – doctor of science (technology), the associate professor, head of the of Metallurgical Plants Mechanical Equipment Department FSBEI HPE «Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov». Phone: (3519) 29-84-51. E-mail: agkorchunov@mail.ru.

Kosyrev Konstantin Lvovich – professor, doctor of technical sciences, general director FSUP «CNIChermet named after I.P. Bardina», Moscow. Phone: 8(495) 777-93-02.

Krutikova Irina Aleksandrovna – a leading engineer of the main metallurgist department of JSC «Uralmashplant», a postgraduate student of JSC «Ural Institute of Metal», Ekaterinburg. Phone: (343)327-18-97. E-mail: I.Krutirova@uralmash.ru.

Kurban Victor Vasiljevich – Cand. of Sciences, Chief Engineer of the central laboratory control of OJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works».

Lapteva Tatyana Alexandrovna – postgraduate student machinebuilding and metallurgical department FSEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519) 29-84-82. E-mail: emaleevadg@mail.ru.

Makarova Victoria Alexandrovna – Economist PLC «NTC-NIIOGR» Chelyabinsk, Phone: (351) 265-55-04. E-mail: makarova_niiogr@mail.ru.

Malapheev Aleksey Vyacheslavovich – candidate of technical science, assistant professor, industrial electric power supply chair assistant professor in State educational establishment of higher vocational education FSBEI HPE «Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov». Research area: electric power supply system working operation condition control. Phone: 8 (3519) 29-85-81. E-mail: malapheev_av@mail.ru.

Meshcheryakova Tatyana Radikovna – PhD in Law, the head of the department of civil disciplines FSBEI HPE «Magnitogorsk State Technical University after G.I. Nosov». Research direction: state civil service. Phone: 8(3519)29-85-62. E-mail: pravo_mgtu@mail.ru.

Montyanova Antonina Nikolaevna – doctor of Technical Sciences, director-General «Fill Methods Co.Ltd», Moscow. E-mail: 22fill56@bk.ru.

Moshkunov Vladimir Victorovich – the post-graduate student of chair of metallurgy of ferrous metals (City educational institution, higher vocational training), FCBEI HVT «Magnitogorsk state technical university of G.I. Nosova». Phone: 8(3519)29-84-49. E-mail: moshkunov@inbox.ru.

Obukhova Tatyana Gennadyevna – teacher of Industrial cybernetics and control systems department of Magnitogorsk State Technical University by G.I.Nosov. The direction of research: optimization of the process control of metallurgical production. Phone: 8(3519)298558. E-mail: tgobuhova@gmail.com.

Panfilova Lyudmila Mihajlovna – a candidate of the technical sciences, the principal scientific employee of JSC «Ural Institute of Metal». Direction of researches: a creation of constructional materials, energy- and resource-saving, ecologically safe «know-how». Ekaterinburg. Phone: (343)375-68-21. E-mail: lmpan@mail.ru.

Panova Eugenia Aleksandrovna – industrial electric power supply chair assistant in State educational establishment of higher vocational education FSBEI HPE «Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov». Research area: electric power supply system emergency and repair out-of-balance operating conditions calculation and analysis. Phone: 8 (3519) 29-85-81. E-mail: panova.ea@gmail.com.

Parsunkin Boris Nikolaevich – doctor of technical science, academician of A.M. Prohorov engineering academy, professor of Industrial cybernetics and control systems department of Magnitogorsk State Technical University by G.I.Nosov. The direction of research: optimization of the process control of metallurgical production. Phone: 8(3519)298432. E-mail: pksu035@gmail.com.

Pashneva Tatyana Vladimirovna – Ph.D in Physics and Mathematics, associated professor of cathedra «Higher Mathematics and Physical and Mathematical Modeling» of Voronezh State Technical University. E-mail: Tat120675@yandex.ru.

Polikarpova Maria Gennadiyevna – Ph.D. in Economics, assistant professor of the department of mathematical methods in economics of FSBEI HPE «Magnitogorsk State Technical University after G.I. Nosov». Phone: 23-03-74. E-mail: marjyshka@rambler.ru.

Polyakova Marina Andreevna – candidate of science (technology), associate professor of Machine-building and Metallurgical Technologies Department, FSBEI HPE «Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov». Phone: (3519) 29-84-81. E-mail: m.polyakova-64@mail.ru.

Ponomareva Svetlana Vasilevna – head of the Department of metallurgy and heat treatment of metals it. V.S. Biront, at the Institute of Nonferrous Metals and Materials Science FSEI HPE «Siberian Federal University», Krasnoyarsk. Areas of research: inert anodes. E-mail: silverya@mail.ru.

Popov Anton Olegovich – 5th year student of the metal forming department FCBEI HVT «Magnitogorsk state technical university of G.I. Nosova». E-mail: aopopov90@yandex.ru.

Raab Arseny Georgievich – junior research assistant, Ufa State Aviation Technical University. E-mail: severe plastic deformation, computer modeling. E-mail: agraab@mail.ru.

Raab George Iosifovich – doctor of technical sciences, senior researcher, head of the laboratory technology of severe plastic deformation, Ufa State Aviation Technical University. Areas of research: severe plastic deformation, metal forming, computer simulations. E-mail: giraab@mail.ru.

Rubin Gennady Shmulievich – candidat of engineering science, associate professor, Senior researcher of Technical Department of Magnitogorsk State head of the Economics and Legal Support direction. Phone: (3519)298563.

Rudneva Irina Gennadevna – Ph.D in Physics and Mathematics, assistant professor, associated professor of cathedra «Physics and Chemistry» of Military Aviation Engineering University (Voronezh). E-mail: irrudneva@mail.ru.

Rumyantsev Mihail Igorevich – Candidate of technical science, professor of metal forming department FCBEI HVT «Magnitogorsk state technical university of G.I. Nosova». E-mail: mihigrum@rambler.ru.

Selivanov Evgeniy Nikolaevich – doctor of the technical sciences, director of the Institute of Metallurgy, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg. Phone: (343) 267-91-24. E-mail: pcmlab@mail.ru.

Semenov Vladimir Ivanovich – Ph.D., senior researcher, Ufa State Aviation Technical University, severe plastic deformation, metal forming, tribology. E-mail: semenov-vi@rambler.ru

Sherbakov Aleksander Sergeevich – a Student of Voronezh State Technical University. E-mail: Tat120675@yandex.ru.

Shishov Andrey Andreevich – postgraduate st. of the Mechanical Engineering and Metallurgical Technologies department Magnitogorsk State Technical University named by G.I. Nosov. Phone: (3519)298526.

Shubin Igor Gennadievich – Candidate of technical science, vice-dean of technological faculty FCBEI HVT «Magnitogorsk state technical university of G.I. Nosova». E-mail: Shubin64@mail.ru.

Shurygin Vladimir Ivanovich – Chief roll pass designer, OJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works». E-mail: shurygin_74@mail.ru.

Smirnov Leonid Andreevich – Doctor of Technical Sciences, professor, an academician of the RAS, the general director of JSC «Ural Institute of Metal», Ekaterinburg. Phone: (343)374-14-33. E-mail: uim@ural.ru.

Smirnov Pavel Nikolaevich – Cand. of Sciences, Chief Engineer of the central laboratory control of OJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works».

Staub Ivan Valerievich – Head of Laboratory of Backfilling Methods, YAKUTNIPROALMAZ Institute, Mirny, rep. Sakha (Yakutia). Phone: (41136) 9-04-92. E-mail: shtaubiv@alrosa.ru.

Stolyarov Alexander Mihajlovich – doctor of technical science, professor, the professor of chair of metallurgy of ferrous metals (City educational institution, higher vocational training), FCBEI HVT «Magnitogorsk state technical university of G.I. Nosova». Phone: 8(3519)29-84-49. E-mail: mcm@magtu.ru.

Subbotina Elena Vladimirovna – Doctor of Technical Sciences, an associate professor of civil disciplines department FSBEI HPE «Magnitogorsk state technical university after G.I. Nosov». Research direction: exercise of subjective rights. E-mail: elena.pravo2012@yandex.ru.

Sultanaliyev Baktybek Sabyrbekovich – Doctor of Technical Sciences, senior research associate of institute mashinovedeniye of National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic.

Sushko Tatyana Ivanovna – Ph.D., assistant professor, associated professor of cathedra «Physics and Chemistry of foundry processes» of Voronezh State Technical University. E-mail: Tane2020102010@mail.ru.

Telegin Vyacheslav Evgenevich – the graduate student FSBEI HPE «Magnitogorsk state technical university named

after G.I. Nosov». Chief Engineer of the central laboratory control of OJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works».

Tomilina Nuriya Gumarovna – educational master of the department «Electrical and electronic systems» at the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519) 29-84-16. E-mail: t.nuria@yandex.ru.

Trilyev Anton Evgenievich – engineer PLC «InEcO» Russia, city of Chelyabinsk. Phone: (351) 265-55-04. E-mail: ineco@bk.ru.

Uskov Danil Igorevich – graduate student of «Foundry engineering», Institute of Non-Ferrous Metals and Materials FSEI HPE «Siberian Federal University», Krasnoyarsk. Research fields: synthesis alloys. E-mail: Uskov59@mail.ru.

Uskov Igor Vasilevich – Candidate of Technical Sciences, docent, doctoral student FSEI HPE «Siberian Federal University», Krasnoyarsk. Research fields: development of new alloys with desired properties. Phone: 8(391) 206-37-54. E-mail: uskov59@mail.ru.

Zhukov Roman Yuryevich – Lead. Engineer of OKB Hydraulic Engineer, Podolsk, Moscow region.

Zhumashev Kalkaman Zhumashevich – doctor of engineering science, chief of laboratory «Physics–chemistry of the complex use condensed waste», Chemical-Metallurgical institute named after Zh. Abishev, Karaganda, Republic of Kazakhstan. Phone: 8 (7212) 43-19-73. E-mail: innovaciya_zh@mail.ru.

Zhuravleva Elena Nikolaevna – younger research associate of the Department of metallurgy and heat treatment of metals it. V.S. Biront, at the Institute of Nonferrous Metals and Materials Science FSEI HPE «Siberian Federal University», Krasnoyarsk. Areas of research: inert anodes. E-mail: elenalyndi-na@mail.ru.

Zhusupbekov Bakytbek Tolobekovich – Candidate of Technical Sciences, institute mashinovedeniye of National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic. E-mail: bakit.j@mail.ru.

Zinko Bronislav Philippovich – cand. sc. engineering FSUP «CNIChermert named after I.P. Bardina», Moscow. Phone: 8(495) 777-93-31, доб. 73-28.

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.**

Раздел «Новые исследования» или «Краткие сообщения» предназначен для оперативной публикации работ преимущественно аспирантов. В журнал входят учебно-методический и библиографический разделы. Общее количество разделов и их объем может варьироваться от номера к номеру.

ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ, ПРИНИМАЕМЫМ К ПУБЛИКАЦИИ

I. Рекомендуемый объем статьи – не более 6–8 стр.

К статье прилагаются:

- 1) экспертное заключение о возможности опубликования;
- 2) рецензия;
- 3) сведения об авторах (на английском и русском языках): фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание и должность, полное название учреждения, направление исследований, контактный телефон и E-mail каждого автора (всё перечислить в одном абзаце);
- 4) аннотацию на английском и русском языках (аннотация должна содержать актуальность, постановку проблемы и пути решения проблемы; необходимо избегать лишних деталей и конкретных цифр; количество слов – 50-100);
- 5) список литературы на английском и русском языках;
- 6) ключевые слова на английском и русском языках.

II. Текст статьи, сведения об авторах, реферат, список литературы и ключевые слова 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:

- 1) **шрифт** – **Times New Roman**, размер – 14 пт, межстрочный интервал – одинарный, перенос слов – автоматический;
- 2) при вставке **формул** использовать встроенный редактор формул **Microsoft Equation** со стандартными установками;
- 3) **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). Рисунки предоставлять в виде распечатки на стандартных листах бумаги формата А4 и отдельным файлом в формате *.TIF, *.JPG, с разрешением **300 dpi**, V&W – для черно-белых иллюстраций, Grayscale – для полутонов, максимальный размер рисунка с подписью – 150×235 мм. В тексте статьи должны быть подписанные надписи в местах размещения рисунков. Например:

Рис. 4. Расчётная зависимость $\gamma(t)=I_{n0}/I_{n0}$ от времени и удалённости КЗ от выводов асинхронного двигателя

Внимание! Публикация статей является бесплатной. Преимущество опубликования представляется 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. Чукину.

Телефоны: (3519) 29-85-26, 22-14-93.

E-mail: rio_mgtu@mail.ru; vestnik@magtu.ru (с указанием темы сообщения «Вестник МГТУ»).