

ВЕСТНИК

Магнитогорского государственного
технического университета им. Г. И. Носова

№ 1 (37) март 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. Рашинов – Президент ООО "Управляющая
компания ММК", проф., д-р техн. наук;
В.М. Счастливцев – зав. лабораторией
ИФМ УрО РАН; академик РАН,
д-р техн. наук;
Ken-ichiro Mori – Professor Department
of Production Systems Engineering,
Toyoashi University of Technology, Japan;
Maciej Pietrzyk – Professor Akademia
Gorniczo-Hutnicza, Krakow, Poland.

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.

Адрес редакции:

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

Журнал подготовлен к печати Издательским центром
МГТУ им. Г.И.Носова.
Отпечатан на полиграфическом участке МГТУ.
Подписано к печати 22.03.2012.
Заказ 190. Тираж 500 экз. Цена свободная.



VESTNIK

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

№ 1 (37) March 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 State Educational Institution of Higher Professional Education “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.
Ken-ichiro Mori – Professor Department of Production Systems Engineering, Toyohashi University of Technology, Japan.
Maciej Pietrzyk – Professor Akademia Gorniczo-Hutnicza, Krakow, 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 ПИ № ФС11-1157 April 18, 2007 г.

Editorship address:

455000, city Magnitogorsk, Lenin Str. 38
Phone number: (3519) 22-14-93
Fax: (3519)23-57-60
Email: rio_mgtu@ru; vestnik@magtu.ru

Published by publishing center of MSTU named after G. I. Nosov.
Signed for press 22.03.2012.
Order 190. Circulation – 500 items. Free price.



СОДЕРЖАНИЕ

Разработка полезных ископаемых.....	5	<i>Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Трифоненков Л.П., Перухин М.В., Баранов В.Н., Лопатина Е.С., Довженко И.Н., Беспалов В.М.</i> Исследование структуры металла и оценка свойств опытных образцов из сплава системы Al–Zr для производства электропроводников с помощью методов литья и обработки давлением.....	51
<i>Корнилов С.Н., Гавришнев С.Е., Калмыков В.Н., Гоготин А.А., Петрова О.В., Пыталев И.А.</i> Изыскание эффективных вариантов отработки железорудных месторождений Бакальского рудного поля.....	5	Машиностроение. Надежность и долговечность оборудования.....	56
<i>Вагин В.С., Туркин И.С.</i> Техничко-экономическая эффективность применения передвижных проходческих подъемных установок с безредукторным гидравлическим приводом при проходке вертикальных стволов строящихся шахт.....	10	<i>Белевский Л.С., Исмагилов Р.Р.</i> Пути повышения служебных свойств валков станов холодной прокатки.....	56
Технологии переработки и утилизации техногенных образований и отходов	13	<i>Чаплыгин Б.А., Буторин Г.И.</i> Новое поколение общемашиностроительных нормативов режимов резания на работы, выполняемые на шлифовальных и доводочных станках.....	61
<i>Емельяненко Е.А., Ангелов В.А., Емельяненко М.М.</i> Разработка способа формирования техногенного образования из хвостов обогащения медно-колчеданных руд с заданными структурными характеристиками.....	13	Энергетика металлургии, энергосбережение и электротехнические комплексы.....	67
<i>Каримова Л.М., Кайралапов Е.Т., Жумашиев К.Ж.</i> Оптимизация условий обеспечения автогенности обжига медного сульфидного концентрата.....	16	<i>Омельченко Е.Я., Агапитов Е.Б., Моисеев В.О.</i> Термодинамическая математическая модель асинхронного двигателя.....	67
Металлургия черных, цветных и редких металлов.....	19	Автоматизация проектирования технологических процессов.....	71
<i>Сибгатуллин С.К., Харченко А.С., Теплых Е.О., Степанов Е.М., Мезин Д.А., Фетисов В.Б.</i> Прочностные характеристики коксового орешка различного происхождения	19	<i>Омаров К.А., Столповских И.Н., Кольга А.Д., Темержанов А.Т., Омарова Т.К.</i> Автоматизация проектирования систем контроля и технической диагностики конвейерных линий.....	71
<i>Черчицев В.Д., Савина Ю.Е.</i> Совершенствование абсорбционных процессов улавливания диоксида серы из газов агломерационного производства.....	21	Экономика, управление и рынок продукции.....	74
Литейное производство.....	24	<i>Колокольцева Е.В.</i> Объединяющие показатели инвестиционной привлекательности проекта и предприятия.....	74
<i>Мошкунев В.В., Столяров А.М., Казаков А.С.</i> Определение длины лунки жидкого металла в непрерывнолитых слябах из трубной стали с использованием эффекта «искусственного раздутия» заготовки.....	24	<i>Данилов Г.В., Рыжова И.Г., Войнова Е.С.</i> Анализ структуры и оценка пропорциональности производственных мощностей предприятия.....	79
<i>Сушко Т.И., Леднев А.С., Пашина Т.В., Руднева И.Г.</i> Анализ причин брака при производстве стальных корпусных отливок посредством СКМ ЛП LVM Flow ...	26	<i>Касатая И.Л.</i> Формирование и реализация инновационного потенциала в национальной экономике	82
Обработка металлов давлением.....	30	<i>Пиньковецкая Ю.С.</i> Экономико-математическое моделирование оборота малых предприятий.....	88
<i>Герасимов В.Я., Парышев Д.Н.</i> Проявление эффекта Баушингера при осадке стальных цилиндров.....	30	<i>Витик С.В.</i> Комплексный подход к формированию многоуровневой системы стимулирования репродуктивного труда	91
<i>Горохов Ю.В., Осипов В.В., Солопко И.В., Катрюк В.П.</i> Расчет температуры полей деформационной зоны при непрерывном прессовании металлов методом Конформ.....	31	Педагогика и психология	94
<i>Огарков Н.Н., Шеметова Е.С.</i> Оценка устойчивости пластической деформации оболочки при волочении биметаллической проволоки.....	34	<i>Семенова О.А.</i> Влияние педагогических технологий на развитие профессиональной направленности студентов в графической деятельности.....	94
<i>Раскатов Е.Ю.</i> Исследование напряженно-деформированного состояния металла в очаге деформации при пилигримовой прокатке труб	37	Новые материалы и технологии.....	98
<i>Федосеев С.А.</i> Оптимизация планирования прокатного производства.....	40	<i>Гончарова О.Н., Сергеенко С.Н.</i> Инфильтрованные материалы на основе механически активированных в жидких средах порошковых шихт Fe–Ni.....	98
Материаловедение и термическая обработка металлов.....	43	Методы и средства технического диагностирования	102
<i>Мирзаев Д.А., Окишев К.Ю., Мирзоев А.А., Шабуров А.Д.</i> Релаксация ближнего порядка атомов внедрения в сплавах Fe–Pd–H при термических воздействиях	43	<i>Гун И.Г., Салганик В.М., Евдокимов С.А., Сарлыбаев А.А.</i> Основные неисправности и методы диагностирования силовых трансформаторов в условиях эксплуатации.....	102
<i>Гадалов В.Н., Сальников В.Г., Романенко Д.Н., Алехин Ю.Г., Квашинин Б.Н.</i> Низкотемпературное цианирование электролитических железохромистых покрытий.....	48	<i>Карандаев А.С., Евдокимов С.А., Деятков Д.Х., Парсункин Б.Н., Сарлыбаев А.А.</i> Диагностирование силовых трансформаторов методом акустической локации частичных разрядов	105
		Сведения об авторах	109
		The information about the authors.....	112

CONTENT

Mining	5	<i>Sidelnikov S.B., Dovzhenko N.N., Trifonenkov L.P., Pervuhin M.V., Baranov V.N., Lopatina E.S., Dovshenko I.N., Bepalov V.M.</i> Study of metal structure and properties assessment of test samples made of Al-Zr alloys being used for electric conductor production using methods of molding and forming	51
<i>Kornilov S.N., Gavrishev S.Y., Kalmykov V.N., Gogotin A.A., Petrova O.V., Pytalev I.A.</i> Research of effective variants of working off iron ores deposits Bakals of an ore field.	5		
<i>Vagin V.S., Turkin I.S.</i> For perfection shaft lifting it is considered uses in a drive of mobile hoist engines compact without reduction a hydraulic actuator providing decrease in dynamic loadings of an elevating complex.	10		
Processing and Utilization Technologies of Formations and Wastes	13	Mechanical Engineering. Safety and Durability of Equipment	56
<i>Emeljanenko E.A., Angelov V.A., Emeljanenko M.M.</i> Working out of the way of formation of technogenic formation from tails of enrichment medno-kolchedannyh of ores with the set structural characteristics.	13	<i>Belevskiy L.S., Ismagilov R.R.</i> The ways of increasing service properties of rolls sheet cold mills	56
<i>Karimova L.M., Kairalapov Y.T., Zhumashev K.J.</i> Optimization of conditions ensuring autogenous roasting of copper-sulfide concentrate	16	<i>Chaplygin B.A., Bytorin G.I.</i> New generation of the total machine-building norms of cutting regimes for the works, carried out on the polishing and finishing machines	61
Metallurgy of Ferrous, Non-Ferrous and Rare Metals	19	Power Supply of Metallurgy, Energy Saving and Heat Power	67
<i>Sibatullin S.K., Kharchenko A.S., Teplykh E.O., Stepanov E.N., Mezin D.A., Fetisov V.B.</i> Strength characteristics of coke nut of different origin.	19	<i>Omelchenko E.J., Agapitov E.B., Moiseev V.O.</i> Thermodynamic model of induction motor.....	67
<i>Cherchintsev V.D., Savina J.E.</i> Improvement of the absorbing processes of capturing sulfur dioxide.	21	Automation Projection of Technological Processes	71
Foundry Engineering	24	<i>Omarov K.A., Stolpovski I.N., Kolga A.D., Temerzhanov A.T., Omarova T.K.</i> Automation design controls and technical diagnostics conveyor lines	71
<i>Moshkunov V.V., Stolyarov A.M., Kazakov A.S.</i> Determination of the length to point of solidification in strands of Peritectic Low Alloyed steels for pipes using "Mini whale" effect.....	24	Economics, Management and Production Market	74
<i>Sushko T.I., Lednev A.S., Pashneva T.V., Rudneva I.G.</i> Analysis of the causes of failure in the manufacturing of steel casting through the hull of a computer simulation of casting processes LVM Flow.....	26	<i>Kolokolceva E.V.</i> United ratios of attractiveness of the project and enterprise.	74
Pressure Treatment of Metals	30	<i>Danilov G. V., Ryzhova I.G., Vojnova E.S.</i> Structure analysis and Value estimation of production capacity proportionality of enterprise.....	79
<i>Gerasimov V.Y., Paryshev D.N.</i> Development of Bauschinger effect during setting of steel culinders	30	<i>Kasataya I.L.</i> Formation and realization innovative potential in national economy	82
<i>Gorohov Y.V., Osipov V.V., Solopko I.V., Katryuk V.P.</i> Calculation of temperature fields of a deformation zone at continuous pressing of metals by a method of Conform.....	31	<i>Pinkovetskaya J.S.</i> Economic-mathematical modeling turnover of small enterprises.....	88
<i>Ogarkov N.N., Shemetova E.S.</i> Sustainability deformation plakiruúšej shell bimetallicheskoj wire.	34	<i>Vitik S.V.</i> Complex approach to building multi-level stimulation reproductive work.....	91
<i>Raskatov E.Yu.</i> Investigations of mode of deformation of metal in the deformation zone during pilger rolling of pipes	37	Pedagogics and Psychology	94
<i>Fedoseev S.A.</i> Optimization of industrial planning for hardware-metal works.	40	<i>Semenova O.A.</i> The influence of the pedagogical technologies on the development of the students' professional trend in the drawing activities.....	94
Material Science and Thermal Metal Treatment	43	New Materials and Technologies	98
<i>Mirzaev D.A., Okishev K.Yu., Mirzoev A.A., Shaburov A.D.</i> Relaxation of short-range order of interstitial atoms in Fe-Pd-H alloys under thermal effects.....	43	<i>Goncharova O.N., Sergeenko S.N.</i> Infiltrated materials based on mechanically activated in liquid media powder mixture Fe-Ni	98
<i>Gadalov V.N., Salnikov V.G., Romanenko D.N., Alekhin J.G., Kvashnin B.N.</i> Low-temperature cyanidation electrolytic iron-chrom coverings.....	48	Methods and Means of Technical Diagnostics	102
		<i>Gun I.G., Salganik V.M., Evdokimov S.A., Sarlybaev A.A.</i> The basic derangements and methods of diagnosing of mains transformers under operating conditions	102
		<i>Karandaev A.S., Evdokimov S.A., Devjatov D.H., Parsunkin B.N., Sarlybaev A.A.</i> Diagnosing of mains transformers method of the acoustical location of partial bits	105
		The information about the authors	112

РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.341.15

Корнилов С.Н., Гавришев С.Е., Калмыков В.Н., Гоготин А.А., Петрова О.В., Пыталев И.А.

ИЗЫСКАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ВАРИАНТОВ ОТРАБОТКИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БАКАЛЬСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

В статье рассматриваются возможные варианты эффективной доработки запасов железных руд карьеров «Сидеритовый» и «Ново-Бакальский» Бакальского рудного поля. Представлены варианты отработки запасов железной руды в стесненных условиях открытым, подземным и комбинированным способами. В результате технико-экономического сравнения выбран оптимальный вариант ведения горных работ.

Ключевые слова: доработка, разработка, железные руды, карьер, система разработки, комбинированная отработка.

The article considers possible variants of effective completion of stocks of iron ores in the open-cast minings «Sideritic» and «New-Bakals» of the Bakals an ore field. Variants of working off of stocks of iron ore in the constrained conditions opened, underground and combined are presented by the ways. As a result of technical and economic comparison the optimum variant of conducting mountain works is chosen.

Key words: completion, mining, iron ores, open-cast mining, system of the mining, the combined working off.

Спецификой месторождений Бакальского рудного поля является низкое содержание железа (в среднем 35%) при высоком содержании оксида магния (в среднем 11%). Именно наличие магнезита не позволяет рассматривать Бакальские месторождения в качестве основной сырьевой базы ОАО «ММК». В силу особенностей горно-геологического строения месторождений, отработка запасов ведется открытым и подземным способами. При этом качество руды, добываемой открытым способом, выше качества руды, добываемой подземным способом. Разубоживание в первом случае составляет менее 3%, во втором – более 10%. Таким образом, в результате сложных горно-геологических условий, высокого разубоживания и низкого содержания железа проект горных работ по добыче руды месторождений Бакальского рудного поля требует особого подхода.

В пределах Бакальского рудного поля (площадь 150 км²) насчитывается более 20 железорудных месторождений.

Северо-Шиханский участок представлен серией рудных тел, располагающихся в разных стратиграфических пачках и на различных глубинах. На площади Сидеритового карьера рудные тела залегают вблизи поверхности и обрабатываются открытым способом. Основная часть запасов железных руд входит в поле шахты Сидеритовая и обрабатывается подземным способом.

Карьер Сидеритовый относится к «Северному» участку месторождения. В настоящее время карьер законсервирован и горные работы на нем не ведутся. Оработка запасов сидеритовых железных руд карьером велась с отступлением от проекта «Разработка сидеритов в зоне кварцитового карьера в поле шахты Сидеритовая». В результате чего часть запасов, около 3 млн тонн блока №30, оказалась в сложных горнотехнологи-

ческих условиях и их отработка на тот период времени являлась экономически нецелесообразной.

Низкое содержание сидерита в руде, характерное для месторождений Бакальской группы, и высокое разубоживание при подземном способе добычи, а также благоприятная ситуация на рынке черных металлов в настоящее время предопределили необходимость извлечения запасов блока №30 Северного участка Шиханского месторождения сидерита открытым способом.

Рудные тела блока №30 представлены сидеритами, имеющими неправильную пласто- или линзообразную форму. Наибольшая мощность рудных тел – до 35 м, наблюдается в северной части карьера.

В контурах карьера оставшиеся к доработке промышленные запасы составляют 1587,7 тыс.т. Данный объем определен в результате подсчета запасов с учетом следующих горно-геологических и технологических условий:

1) западный борт карьера частично попадает в границу зоны воронкообразования в результате ведения подземных горных работ шахты «Сидеритовая»;

2) на поверхности северного борта размещены внешние отвалы.

В соответствии с заданной годовой производительностью (300 тыс. м³) оставшиеся запасы полезного ископаемого достаточны для работы карьера в течение 7,3 года, однако выход на проектную мощность возможен только на третий год эксплуатации. Это связано со стесненными условиями в контурах существующего карьера, отсутствием транспортного доступа на верхние горизонты и требованиями предприятия к минимальному количеству горнотранспортного оборудования при обеспечении надежности работы карьера [1].

Для обеспечения возможности добычи сидерита были предложены и обоснованы следующие проектные решения:

1. Формирование транспортного доступа к верхним горизонтам для доставки выемочно-погрузочного оборудования и порожних автосамосвалов. В результате расчетов выбран оптимальный способ устройства автодороги вдоль юго-восточного борта карьера на базе ранее существовавшей железнодорожной ветки, связывающей Центральный карьер с промплощадкой ДОФ. Принято решение о формировании однополосной автодороги категории IV-к шириной не менее 12,1 м, за счет отсыпки ее из вскрышных пород существующих отвалов. При этом объем отсыпки составит 5 тыс.м³. Следует отметить, что данная дорога конструктивно не предназначена для пропуска груженых автосамосвалов (рис. 1 (1)).

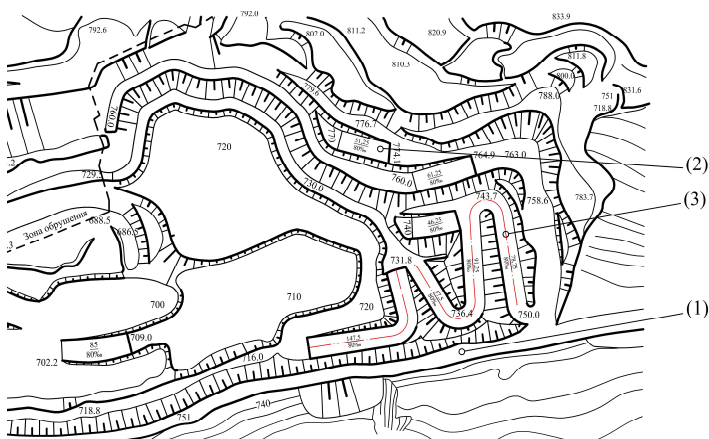


Рис. 1. Схема транспортных коммуникаций на гор. 750 м

2. Извлечение максимального объема сидерита в стесненных условиях карьера. Оно предполагает формирование временного автомобильного съезда на существующей в восточной части карьера площадке из вскрышных пород [2], добываемых при отработке верхних горизонтов с отметками 790–770 м (рис. 1 2)). При этом будет обеспечен транспортный доступ с горизонта 750 м на горизонт 720 м, а также на горизонты 740 и 730 м за счет разворотных площадок с отметок 744 и 731 м. (рис. 1 (3)).

Данные проектные решения обеспечивают отработку максимального объема запасов в стесненных горно-геологических и горнотехнических условиях карьера «Сидеритовый».

При доработке запасов железной руды карьера «Сидеритовый» подготовка полезного ископаемого к выемке производится буровзрывным способом, в качестве ВВ применяются граммонит 79/21 и эмульсионные ВВ. В последующем порода

отгружается экскаваторами ЭКГ-5 в автосамосвалы БелАЗ-7547 грузоподъемностью 45 т. Вскрыша транспортируется в восточном направлении для складирования во внешние отвалы, а руда – на склад для перегрузки на железнодорожный транспорт.

В соответствии с заданием на проектирование необходимо было определить месторасположение перегрузочного склада руды. Были рассмотрены три варианта, сравнение которых производилось только по отличающимся параметрам (рис. 2).

Вариант 1. Предполагает задействовать существующий перегрузочный склад на карьере «Петлинский». В данном варианте доставка руды из карьера «Сидеритовый» до перегрузочного склада будет осуществляться автомобильным транспортом, среднее расстояние транспортирования 5100 м. На существующем перегрузочном складе имеющегося оборудования достаточно для переработки суммарного объема руды.

Вариант 2. Строительство нового перегрузочного склада у поста №9 железнодорожного перегона Бакал – ст. Кварцитная. Для реализации данного варианта необходимо восстановить железнодорожный путь и контактную сеть общей протяженностью 1100 м, произвести планировочные работы на месте предполагаемого склада, задействовать дополнительное оборудование (экскаватор ЭКГ-5 (ЭКГ-4,6Б), бульдозер Т-170 (Т-330, ДЭТ-250)). В данном варианте доставка руды из карьера «Сидеритовый» до перегрузочного склада будет осуществляться автомобильным транспортом, среднее расстояние транспортирования 2800 м.

Вариант 3. Строительство нового перегрузочного склада в районе ПТО карьера «Петлинский» на базе существующего железнодорожного тупика. Для реализации данного варианта необходимо задействовать дополнительное оборудование (экскаватор ЭКГ-5 (ЭКГ-4,6Б), бульдозер Т-170 (Т-330, ДЭТ-250)). В данном варианте доставка руды из карьера «Сидеритовый» до перегрузочного склада будет осуществляться автомобильным транспортом, среднее расстояние транспортирования 3800 м.

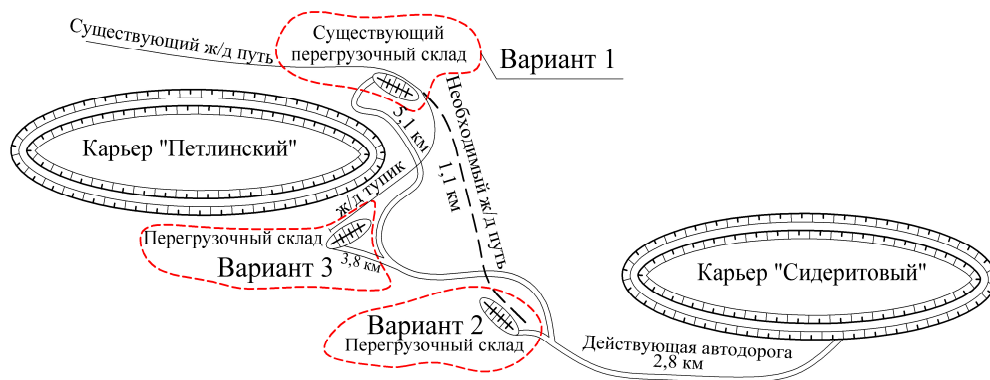


Рис. 2. Варианты размещения перегрузочного склада

В результате проведенного технико-экономического сравнения трех вариантов размещения перегрузочного склада наиболее эффективным оказался третий вариант. В укрупненных расчетах не учитывались текущие затраты на эксплуатацию склада для второго и третьего вариантов, а также затраты на его ликвидацию после завершения добычных работ на карьере «Сидеритовый». Это связано с тем, что территории для рассматриваемых складов располагаются на землях, нарушенных горными работами и подлежащих рекультивации после завершения отработки, а задействованное оборудование предполагается переместить на другие объекты ООО «Бакальское рудоуправление». Схема перегрузочного склада в районе ПТО карьера «Петлинский» представлена на рис. 3.

Разработанные проектные решения и заданный годовой объем добычи сидерита определили календарный план горных работ, при котором выход карьера на проектную мощность возможен только на третий год. Это связано с горно-геологическими и горнотехническими особенностями карьера «Сидеритовый». При этом, в стесненных условиях, при отсутствии транспортной полосы отработка уступа производится тупиковыми заходками с шириной рабочей площадки – 24,0 м. На участках с шириной площадки менее 24 м предусматривается подача автосамосвала к экскаватору задним ходом на расстояние не более 30 м.

Таким образом, в соответствии с предложенными проектными решениями, в результате доработки запав

сов железной руды карьера «Сидеритовый» будет сформирован карьер, глубина которого составит 120 м при ширине берм безопасности, равной 10 м, и углом строенного нерабочего уступа, равным 60°. При этом в течение 5 лет будет добыто более 1,5 млн т сидерита.

Карьером «Ново-Бакальский» обрабатывается также западная часть Северо-Шиханского месторождения, которое сложено маломощными пластообразными залежами сидеритов, падающими на юго-восток под углами 20–50°.

При выходе карьера «Ново-Бакальский» на проектный контур часть запасов Ново-Бакальского месторождения осталась в приконтурной зоне. Добыча данных запасов может осуществляться открытым, подземным и комбинированным способами. Возникает необходимость выбора рационального способа отработки данных запасов, позволяющего существенно снизить капитальные и эксплуатационные затраты при выемке приконтурных запасов сидерита.

Ново-Бакальское месторождение отработано карьером до отметки 440 м. Борты карьера сложены, в основном, скальными породами, прочностные и деформационные свойства которых определяются структурой массива.

Балансовые запасы руды по выемочным единицам, рассчитанные на основании разрезов, по блоку №29 составляют 6,9 млн т (рис. 4).

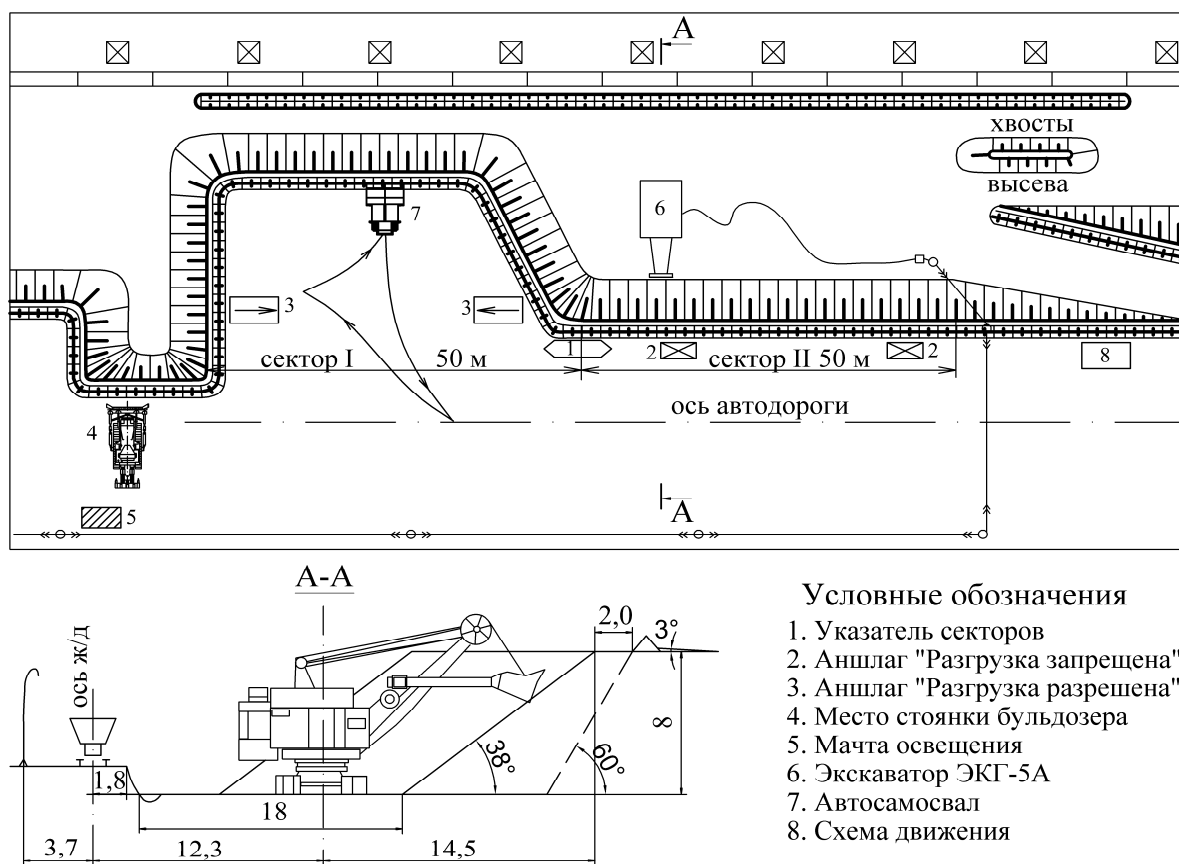


Рис. 3. Схема перегрузочного склада

Проектный контур карьера при отработке блока 29 открытым способом

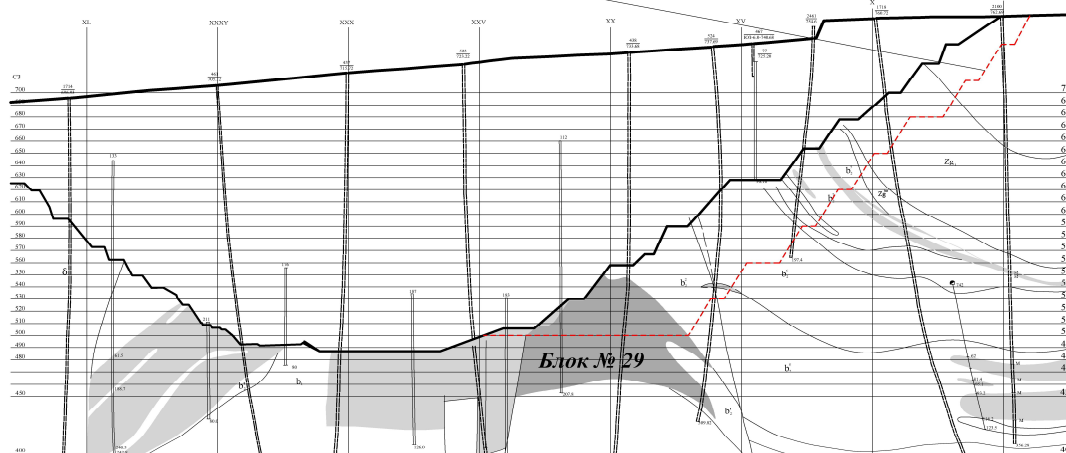


Рис. 4. Геологический разрез по линии 75

Было рассмотрено три способа доработки месторождения: открытый, комбинированный и подземный.

При доработке Ново-Бакальского месторождения открытым способом объем работ по горной массе составит 3,5 млн м³. Разнос юго-восточного борта карьера производится с отн. +795 м до отн. +500 м. Извлекаемые запасы составят 265 тыс. м³, объем вскрышных пород – 3,235 млн. м³, коэффициент вскрыши – 3,5 м³/т. Однако технологически обеспечить извлечение данных объемов весьма сложно, поскольку для расконсервации данного борта необходимо создание минимальных рабочих площадок вдоль всего юго-восточного борта, что в свою очередь потребует переноса части отвалов, находящихся на данном борту. В связи с этим, доработка открытым способом не рентабельна.

Возможны следующие варианты отработки части прибортовых запасов блока № 29 с использованием открыто-подземных технологий. Объем запасов выше горизонта 520, прилегающих к контуру карьера «Ново-Бакальский», составит 27,5 тыс. м³ при увеличении угла заоткоски уступов до 62°. В качестве конкурирующих были рассмотрены варианты с различными схемами размещения бурового оборудования. В первом случае бурение производится непосредственно из

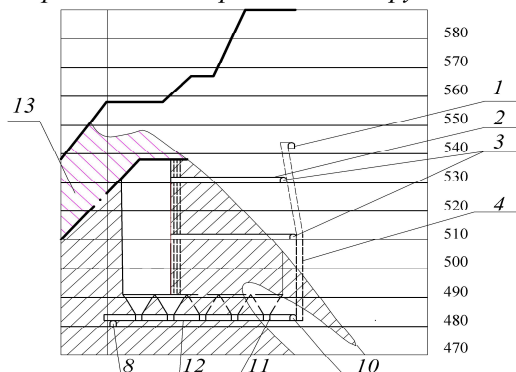
карьерного пространства буровыми станками НКР-100М. Однако, это трудноосуществимо в связи с тем, что расстояние от бурового станка до борта карьера изменяется от 1 до 8 м. Обустройство массива с бермы вышележащего горизонта затруднительно в связи с отсутствием в настоящее время доступа к ней. Во втором случае предлагалось использовать в качестве места размещения бурового станка буровой штрек, пройденный в борту карьера. В обоих вариантах отбойка будет производиться зарядами веером скважин несколькими секциями. Последующая уборка и доставка рудной массы осуществляется экскаватором ЭКГ-5 и самосвалами БелАЗ.

Реализация обоих вариантов потребует прекращения работы карьера «Ново-Бакальский» на длительный срок (до полугода). Поэтому данные варианты впоследствии не рассматривались.

Для отработки прибортовых запасов блока №29 приняты к рассмотрению следующие системы разработки и схемы подготовки.

Этажно-камерные системы разработки с подэтажной отбойкой переносным или самоходным оборудованием и выдачей рудной массы через наклонный конвейерный ствол (рис. 5).

С применением переносного оборудования



С применением самоходного оборудования

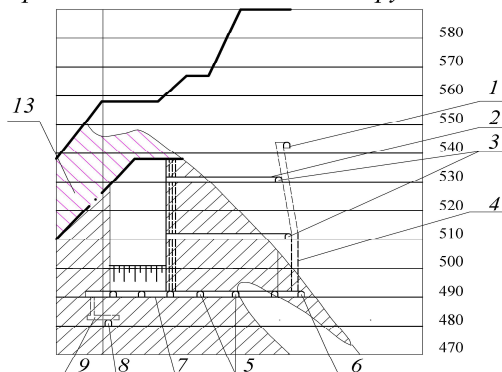


Рис.5. Этажно-камерная система разработки с подэтажной отбойкой:

- 1 – вентиляционный штрек № 1; 2 – буровой орт; 3 – подэтажные штреки; 4 – блоковый восстающий; 5 – заезды;
- 6 – транспортный штрек; 7 – доставочный орт; 8 – транспортный штрек 1/29; 9 – камера скреперной лебедки;
- 10 – транспортный штрек 1/28; 11 – дучка; 12 – скреперный орт; 13 – предохранительный целик

Системы разработки открытыми камерами и подэтажным обрушением с применением самоходного оборудования (рис. 6):

- 1) с выдачей рудной массы: через карьерное пространство; через наклонный конвейерный ствол;
- 2) с подготовкой блока №29 к очистным работам: полевой; рудной; комбинированной;
- 3) с расположением панелей: вкрест простирания рудного тела; по простиранию рудного тела.

При применении этажно-камерной системы разработки с подэтажной отбойкой, у контура карьера оставляется предохранительный целик шириной 20 м.

Расчетный пролет камеры при применении самоходного оборудования – 26 м, переносного оборудования – 20 м, ширина междуканнерного целика – 14 м при применении самоходного оборудования, 11 м – переносного. Высота камер 60 м, длина изменяется в зависимости от мощности рудного тела – от 90 до 40 м. После отработки камерных запасов осуществляется выемка целиков. При применении данной системы разработки потери составляют – 28,6%, разубоживание – 9,8%.

Для отработки блока №29 рассмотрены также системы разработки открытыми камерами и подэтажно-обрушения с применением самоходного оборудования. При данном варианте выдача рудной массы может осуществляться как через наклонный конвейерный ствол непосредственно на ДОФ, так и в карьерное пространство, а затем на обогатительную фабрику.

В первом случае с каждого подэтажа рудная масса будет перемещаться посредством рудоспусков на горизонт 480 м. Там, через полки с помощью скреперных лебедок ЛС-55-2С грузится в вагонетки и затем доставляется до наклонного конвейерного ствола. Дополнительно необходимо проведение откаточных выработок по горизонту 480 м, длина которых составит 1296 м, а объем работ – 15552 м³.

Во втором варианте выдача рудной массы осуществляется посредством автосамосвалов МоА3-7529 через наклонный съезд в карьерное пространство,

затем производится перегрузка в карьерные автосамосвалы БелАЗ. После этого рудная масса поступает на рудный склад, где перегружается в вагоны, и по железной дороге доставляется на ДОФ.

Таким образом, для отработки запасов блока №29 сконструированы четыре технологические схемы с двумя различными вариантами доставки рудной массы до ДОФ:

- с расположением полевой подготовительной выработки по лежачему борту рудного тела и ориентацией панелей вкрест простирания;
- с проходкой рудной подготовительной выработки вдоль борта карьера с оставлением охранного целика и ориентацией панелей вкрест простирания рудного тела;
- с размещением полевой подготовительной выработки по лежачему боку залежи, рудной выработки в борту карьера, оставлением охранного целика и ориентацией панелей вкрест простирания;
- с расположением полевой подготовительной выработки по лежачему боку рудного тела и ориентацией панелей по простиранию.

По данным системам разработки был произведен расчет критериев эффективности инвестиционных проектов.

Анализ полученных результатов показал предпочтительность вариантов систем разработки открытыми камерами, подэтажного обрушения и применением самоходного оборудования. Варианты предусматривают полевую подготовку блока и расположение панелей вкрест простирания рудного тела, выдачу рудной массы через карьерное пространство. Реализация данного варианта для отработки блока №29 обеспечит максимум чистого дисконтированного дохода – 96,46 млн руб., срок окупаемости инвестиций – 5 лет, индекс доходности – 5 и внутреннюю норму доходности 29,3% при сроке освоения запасов 16 лет с годовой производительностью 350 тыс.т.

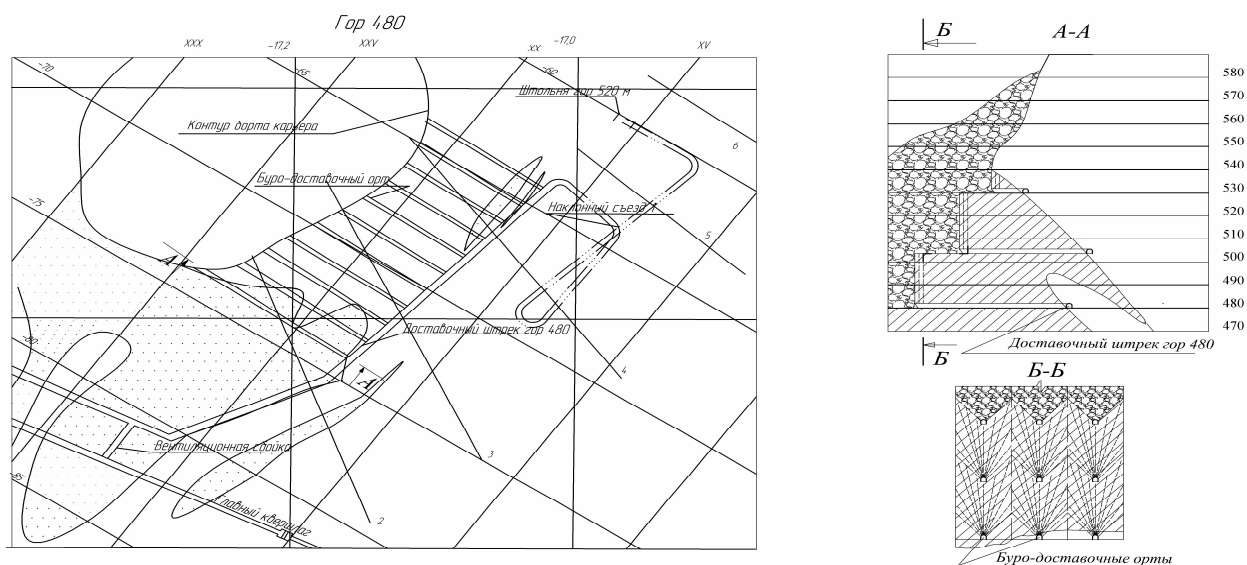


Рис.6. Отработка блока №29 системой разработки: подэтажного обрушения и ориентацией панелей вкрест простирания

Сопоставимым по экономическим показателям является вариант системы разработки открытыми камерами и подэтажного обрушения с применением самоходного оборудования. Вариант предусматривает полевую подготовку блока, расположение панелей вкрест простирания рудного тела, выдачу рудной массы через карьер. Значение чистого дисконтированного дохода по данной системе разработки на 6% меньше, чем при варианте с полевой подготовкой блока к выемке, внутренняя норма доходности и срок окупаемости на одном уровне, индекс доходности ниже на 20% и составляет 4,05.

Повышение качества рудной массы и снижение себестоимости добычи на месторождениях Бакальской группы достигается при реализации следующих проектных решений:

Применение комбинированной отработки части прибортовых запасов позволит увеличить долю запасов, извлекаемых открытым способом, за счет чего повысится качество добываемой рудной массы.

Так как при подземном способе отработки месторождения и использовании этажно-камерных систем разработки качество рудной массы, как правило, ухудшается, предлагается применить данный вариант

системы разработки без погашения междукамерных целиков, что уменьшит разубоживание.

Снижение себестоимости добываемой рудной массы обосновывается применением мощного высокопроизводительного оборудования.

Внедрение систем разработки открытыми камерами и подэтажного обрушения при отработке приконтурных запасов ведет к существенному снижению удельного объема подготовительно-нарезных работ, позволяет произвести выемку запасов с высокой полнотой извлечения.

Список литературы

1. Гавришев С.Е., Грязнов М.В., Рахмангулов А.Н. Методы обеспечения надежности работы карьеров // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2003. №4. С.11–16.
2. Гавришев С.Е., Пыталев И.А. Перспективные направления использования отвалов и выработанного карьерного пространства // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2007. №4. С.10–14.

Bibliography

1. Gavrishv S.Y., Gryaznov M.V., Rakhmangulov A.N. Methods of maintenance of reliability of work of the open-cast mining // Vestnik of MSTU named after G.I. Nosov. 2003. №4. P.11–16.
2. Gavrishv S.Y., Pytalev I.A. Perspective directions of use mine dumps and the worked-out area of open pit // Vestnik of MSTU named after G.I. Nosov. 2007. №4. P.10–14.

УДК 622.676-82

Вагин В.С., Туркин И.С.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРЕДВИЖНЫХ ПРОХОДЧЕСКИХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК С БЕЗРЕДУКТОРНЫМ ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ ПРИ ПРОХОДКЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ СТРОЯЩИХСЯ ШАХТ

Приведены результаты сравнительного анализа технико-экономических показателей передвижных проходческих подъемных установок с редукторным асинхронным и безредукторным гидравлическим приводами при сооружении вертикальных стволов шахт.

Ключевые слова: проходческая подъемная установка, тяговый орган, стальная лента, безредукторный гидравлический привод, электромеханический асинхронный привод, экономическая эффективность.

Results of the comparative analysis of technical and economic indicators mobile shaft elevating installations with reduction asynchronous and without reduction hydraulic drives are resulted at a construction of vertical trunks of mines.

Key words: prohodchesky elevating installation, traction body, steel tape, without a reducer an electrohydraulic drive, electro-mechanical asynchronous drive, economic efficiency.

Важнейшей задачей, стоящей перед горнодобывающей промышленностью, в настоящее время является обеспечение промышленности России топливно-сырьевыми ресурсами. Решение этой стратегической задачи настоятельно требует увеличения масштабов и темпов нового шахтного строительства. При этом острая проблема максимального сокращения сроков сооружения вертикальных стволов вызывает необходимость существенного повышения технического уровня и эффективности горнопроходческой техники, особенно в передвижном исполнении.

Применяемые в настоящее время одноканатные передвижные проходческие подъемные машины типа МПШ имеют значительную массу (14–177 т), большие габариты и относительно небольшую высоту подъема (300–600 м) при номинальной грузо-

подъемности 25–171 кН. При этом масса электромеханического асинхронного привода машин составляет 10–45 т (25–40 % от их полной массы).

Для повышения степени технического совершенства проходческого подъема необходимо решение двух вопросов: во-первых, создания малогабаритных проходческих подъемных машин, во-вторых, компактных высокоэффективных безредукторных систем приводов. Успешное решение первого вопроса возможно путем использования высокопрочной гибкой стальной ленты. При этом масса подъемных машин с бобинной навивкой стальной ленты при использовании бадей емкостью от 1 до 6,5 м³ уменьшается более чем в четыре раза [1].

Для малогабаритных передвижных проходческих подъемных машин нужен особо компактный нетради-

ционный привод. Таковым может быть силовой высокомоментный объемный безредукторный гидропривод [2], масса которого в 1,6-2 раза меньше электро-механического асинхронного привода. Такое конструктивное решение позволяет снизить суммарную массу передвижных проходческих подъемных машин в 3-4 раза [1] в сравнении с машинами МПП.

Исследования динамики передвижных проходческих подъемных установок с бобинной навивкой ленточного тягового органа и безредукторным гидравлическим приводом [3] показали, что максимальные динамические нагрузки на тяговый орган на 20-30% меньше, чем для канатных подъемных установок с асинхронным приводом. Это означает, что при одинаковой динамичности (нагрузки на тяговый орган) для проходческих подъемных систем с безредукторным гидравлическим приводом можно повысить величину поднимаемого груза не менее чем на 20-30% [2], что практически реализуется путем навески бады ближайшего большего типоразмера. Последнее приводит к повышению производительности проходческого подъема и способствует увеличению среднемесячной скорости проходки вертикального ствола шахты.

Основным показателем, позволяющим оценить эффективность применения передвижных проходческих подъемных установок с различными системами приводов, является их производительность, определяемая скоростью проходки ствола.

Среднемесячная скорость проходки A (м/мес) определяется по формуле [4,5]

$$A = \frac{24n - T_{po} - T_{cm}}{T + T_y} l, \quad (1)$$

где n – число рабочих дней в месяц; T_{po} – время осмотра сосудов, прицепленных устройств, ствола, тягового органа, ревизии и ремонта подъемной машины в течение месяца, определяемое в соответствии с нормативными данными [4], ч; T_{cm} – время подъема и спуска смены в течение месяца [6], ч; T – суммарное время составляющих цикла (длительность буровзрывных работ, крепления ствола, наращивания трубопроводов, ремонтных работ) за исключением несовмещенных работ по осмотру и ремонту ствола, подъему и спуску смены и времени уборки породы [4], ч; T_y – время уборки породы после взрыва, рассчитываемое по рекомендациям [4], ч; l – продвижение забоя на цикл, м.

Продолжительность проходки ствола в месяц [4]

$$T_{II} = \frac{H_{cm}}{A}, \quad (2)$$

где H_{cm} – глубина ствола, м.

Результаты расчета скорости и продолжительности проходки стволов в зависимости от глубины ствола при использовании для проходки стволов передвижных канатных машин типа МПП с асинхронным приводом и однобобинных многоленточных подъемных машин с безредукторным гидравлическим приводом представлены на рис. 1. При этом расчет проведен

для одинаковой мощности приводов и одинаковых коэффициентов динамичности на тяговые органы машин по следующим исходным данным: диаметр готового ствола в свету 6 м, максимальная скорость движения бадей 7 м/с, число рабочих дней в месяц – 30, продвижение забоя за цикл – 4 м, вместимость бадей 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6,5.

Анализ полученных зависимостей свидетельствует о том, что при одинаковой установленной мощности приводов подъемных машин и равной динамичности на тяговый орган скорости проходки стволов при использовании машин с гидроприводом (зависимости 2, 4, 6) на 5-7 м/мес выше, чем для подъемных машин с асинхронным приводом (зависимости 1, 3, 5), а продолжительность сооружения стволов меньше в среднем на 1 месяц в зависимости от глубины проходки. При увеличении глубины проходки ствола до 1200 м прирост темпов проходки за счет использования передвижных подъемных машин с гидроприводом составляет порядка 16 м/мес (см. рис.1).

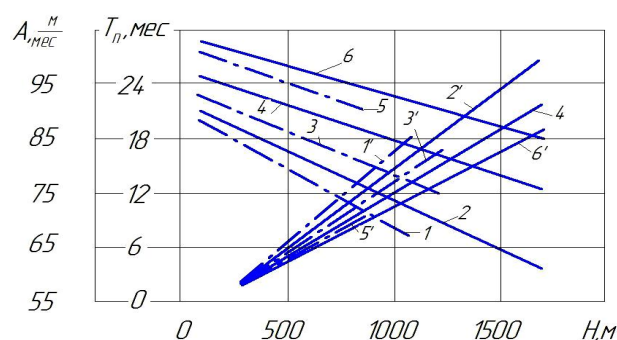


Рис. 1. Зависимости среднемесячной скорости 1, 2, 3, 4, 5, 6 и продолжительности проходки стволов 1¹, 2¹, 3¹, 4¹, 5¹, 6¹ при вместимости бадей соответственно 2; 2,5; 3; 4; 5; 6,5 м³ от глубины ствола для подъемных установок с безредукторным гидроприводом (2, 4, 6) и (2¹, 4¹, 6¹) и асинхронным редукторным (1, 3, 5) и (1¹, 3¹, 5¹)

Одним из основных показателей оценки экономической эффективности внедрения передвижных проходческих подъемных установок может быть суммарный экономический эффект ($\Sigma \mathcal{E}$). Он находится в соответствии с общепринятой методикой [7] по формуле

$$\Sigma \mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_4 + \mathcal{E}_5, \quad (3)$$

где \mathcal{E}_1 – экономический эффект от снижения себестоимости строительно-монтажных работ при использовании передвижных проходческих подъемных машин с безредукторным гидравлическим приводом; \mathcal{E}_2 – экономический эффект от уменьшения единовременных затрат при использовании подъемных установок с гидроприводом; \mathcal{E}_3 – экономический эффект за счет снижения эксплуатационных расходов с учетом различной продолжительности использования проходческих подъемных установок с асинхронным и гидравлическим приводами и при этом снижение расхода электрической энергии, обусловленное рекуперацией ее в сеть гидравлическим приводом при спуске порожней бады и различных грузов

в ствол; \mathcal{E}_4 – экономический эффект от уменьшения размера прямых и накладных расходов в связи с сокращением продолжительности строительства и снижения условно-постоянной доли прямых и накладных расходов; \mathcal{E}_5 – экономический эффект от досрочного ввода предприятия в эксплуатацию.

Результаты расчета ожидаемого экономического эффекта сравнимых систем подъема для рудных шахт приведены на рис. 2.

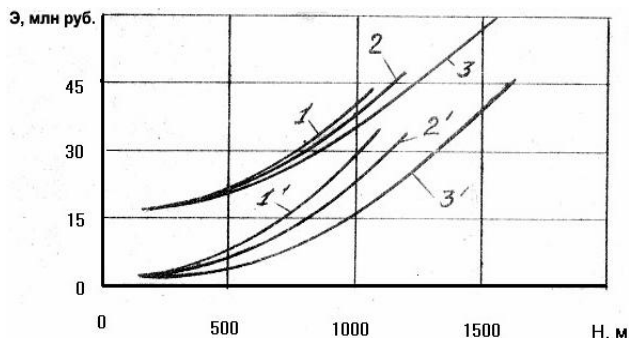


Рис. 2. Зависимости суммарного экономического эффекта от использования передвижных проходческих подъемных установок с безредукторным гидравлическим приводом в зависимости от глубины проходки ствола для различных мощностей приводов: 1, 2, 3 – суммарный экономический эффект от досрочного ввода предприятия в эксплуатацию для мощности привода подъемных машин соответственно 630, 1000, 2×630 кВт; 1', 2', 3' – экономический эффект только от сокращения продолжительности проходки ствола при использовании подъемных машин с гидравлическим приводом для мощности соответственно 630, 1000, 2×630 кВт

Максимальная глубина проходки стволов для подъемных установок с асинхронным приводом (при многослойной навивки каната) ограничена глубиной 1100–1200 (зависимости 1 и 3) и скоростью проходки в пределах от 67 до 75 м/мес, а для подъемных установок с гидроприводом глубина проходки может быть более 1500 м и скорость проходки составляет от 71,5 до 91,5 м/мес (зависимости 2 и 6) при глубине проходки 1100–1200 м.

Оценивая результаты выполненного технико-экономического анализа, можем заключить, что использование передвижных бобинных проходческих подъемных установок с безредукторным гидравлическим приводом решает задачу увеличения производительности проходческих подъемных установок и скорости проходки вертикальных стволов на 5–16 м/мес

в сравнении с существующими подъемными установками с асинхронным приводом. При этом продолжительность проходки стволов снижается в зависимости от глубины и емкости бады на 1–3 месяца. Экономический эффект за счет снижения себестоимости строительно-монтажных работ, единовременных затрат, эксплуатационных и досрочного ввода предприятия в эксплуатацию составляет при баде 6,5 м³ (зависимость 3) порядка 53 млн руб. на проходку одного ствола глубиной до 1500 м.

Прирост экономического эффекта только за счет снижения продолжительности проходки ствола в интервале глубин 1000–1500 м (зависимость 3') составит порядка 30 млн руб. (см. рис. 2).

Список литературы

1. Вагин В.С. Перспективы создания малогабаритных передвижных проходческих подъемных машин // Добыча, обработка и применение природного камня: сб. науч. тр. Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2008. Вып. 8. С. 168–175.
2. Вагин В.С., Туркин И.С. Повышение эффективности подъемных установок для проходки стволов строящихся шахт // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. докл. IX междунар. науч.-техн. конф. Чтения памяти В. Р. Кубачека. Екатеринбург: ФГБОУ ВПО «УГГУ», 2011. С. 40–43.
3. Борохович А.И., Вагин В.С. Уравнения динамики передвижных проходческих подъемных установок с безредукторным гидроэлектроприводом // Изв. вузов. Горный журнал. 1989. № 4. С. 92–96.
4. Временные нормы технологического проектирования проходки стволов с использованием передвижного проходческого оборудования. Проходческий подъем. РТМ 12.58.010-82. Донецк: Минуглепром СССР, 1982. 46 с.
5. Тарасов А.М., Федоров Е.М., Беленцов Е.Н. Выбор ряда бадей и подъемных машин для проходки стволов // Шахтное строительство. 1987. № 1. С. 12–15.
6. Справочник инженера-шахтостроителя / под общ. ред. В.В. Белого. М.: Недра, 1985. 270 с.
7. Зайцев Н.Л. Экономика промышленного предприятия: учеб. пособие. 3-е изд. М.: ИНФРА-М, 2004.

Bibliography

1. Vagin V. S. Prospects of creation small-sized mobile проходческих elevating cars. // Extraction, processing and application of a natural stone. Release 8: the Collection scientific works.-Magnitogorsk: The state educational institution of the higher vocational training «MGU», 2008. P. 168–175.
2. Vagin V. S, Turkin I.S. increase of efficiency of elevating installations for trunks of under construction mines.// The Process equipment for mountain and petroleum industry: the Collection of reports 9 international scientific and technical conferences. Readings of memory of V.R.Kubacheka. Ekaterinburg The state educational institution of the higher vocational training «UGGU», 2011. С. 40–43.
3. Borohovich A.I., Vagin V. S. The equations of dynamics mobile elevating installations with Hydraulic electric drive. //News of Higher educational institutions. Mountain magazine.1989. №4. S.92–96
4. Time norms of technological designing проходки trunks with use mobile проходческого the equipment. Prohodchesky lifting. РТМ 12.58.010-82. Donetsk: the Ministry of the coal industry of the USSR, 1982. P. 46.
5. Tarasov A.M., Fedorov E.M., Belentsov E.N.choice of some tubs and hoist engines for passes development. // Mine building. 1987. №1 С.12–15.
6. Directory of the engineer the builder of mines / under V.V.Belogo's edition. M: Bowels, 1985. 270 with.
7. N.L.economy's hares of the industrial enterprise. The manual. 3 изд. M: INFRA TH, 2004.

ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ И ОТХОДОВ

УДК 622.7'17:622.271.4

Емельяненко Е.А., Ангелов В.А., Емельяненко М.М.

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ ИЗ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ МЕДНО-КОЛЧЕДАНЫХ РУД С ЗАДАНЫМИ СТРУКТУРНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ*

В статье предложена новая технология формирования техногенных месторождений посредством заполнения текущими хвостами обогатительной фабрики специальных емкостей, изготовленных из тканного материала марки Geolon (геотекстиль).

Ключевые слова: техногенное месторождение, складирование отходов, хвостохранилище, технология Geotube.

The summary: in article the new technology of formation of technogenic deposits by means of filling of current tails of concentrating factory in the special capacities made from of a material marks Geolon (geotextiles) is offered.

Key words: technogenic deposits, warehousing of a waste, tailing dump, technology Geotube.

Рациональное использование недр и повышение эффективности горного производства предусматривает комплексное извлечение полезных компонентов, утилизацию вторичных минеральных ресурсов на основе применения инновационных технологий и высокопроизводительного горного оборудования.

Длительное освоение медно-колчеданных месторождений Урала привело к образованию на земной поверхности значительного количества отходов переработки руд. Причем, содержание в них ценных компонентов и общий объем накопленных металлов сопоставимы в ряде случаев по многим элементам с перспективными месторождениями (табл. 1), что определяет рассмотрение этих объектов как резервной сырьевой базы действующих горно-обогатительных комбинатов. Однако данные объекты, в основной своей массе, не пригодны для отработки традиционными физико-техническими способами по технологическим, экономическим или горно-геологическим условиям [1].

Таблица 1

Содержание основных ценных компонентов в хранилищах отходов обогащения руд Южного Урала

Обогатительная фабрика	Содержание элементов					
	Медь, тыс. т	Цинк, тыс. т	Сера, тыс. т	Железо, тыс. т	Золото, т	Серебро, т
Гайская	120	92	10640	5548	32	160
Бурибаевская	24,84	11,55	1412,6	1276,2	6,62	56,8
Учалинская	89,7	257,04	6306,3	8050,8	16,38	232,05
Сибайская	34,4	89,44	3646,4	5899,6	13,84	344
Всего:	239,3	326,83	22005,3	20774,6	68,84	792,85

* Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», госконтракт №14.740.11.1272.

Эффективная эксплуатация данных месторождений возможна с применением кучного и скважинного выщелачивания. Актуальность применения таких технологий не вызывает сомнений. Однако развитие их в России сдерживается рядом весомых причин: низкой интенсивностью процессов выщелачивания; недостаточной изученностью техногенной сырьевой базы; сложностью управления процессами фильтрации и выщелачивания в техногенных массивах, расположенных на поверхности и подверженных воздействию атмосферных осадков и колебанию температур; отсутствием технологических решений по формированию техногенных массивов с использованием современных геоматериалов.

Анализ сложившейся в горнопромышленном комплексе структуры отходов свидетельствует о том, что до настоящего времени формирование техногенных объектов проводилось и проводится на основе традиционных требований к складированию отходов производства. Формирование хвостохранилищ происходит часто бессистемно, и установить закономерности распределения ценных компонентов при их разработке является сложной и часто технически неразрешимой задачей. Как правило, техногенные образования формируются без учета возможности и целесообразности их эксплуатации в настоящее время или в будущем.

Именно поэтому дальнейшее развитие физико-химической геотехнологии требует принципиально новых подходов к формированию техногенных массивов из отходов горно-обогатительного производства. Для предотвращения развития экстенсивного накопления отходов производства в настоящее время необходимо особое внимание уделять проблеме рационального складирования и сохранения техногенного минерального сырья для повторной эксплуатации в будущем, а также оценке и учету их качества и объе-

мов. Авторами предлагается инновационный путь решения части этих проблем за счет принципиально нового подхода к формированию техногенных массивов из отходов горно-обогатительного производства. Исходя из этой позиции, были определены основные задачи, требующие первостепенного решения:

- исключение потерь ценных компонентов из складываемых дисперсных отходов обогащения, происходящих за счет природного выщелачивания;
- определение методов контроля, изменение их качественного состава;
- решение вопросов целенаправленной подготовки текущих хвостов обогащения к их повторной переработке в будущем физико-химической геотехнологией;
- создание благоприятных условий для процессов внутриотвального обогащения на геохимических барьерах;
- изыскание способов увеличения степени их доступности для освоения в будущем.

Техногенные массивы при гидравлической укладке хвостов обогащения формируются в искусственных и естественных емкостях, образованных в результате выемки горных пород либо путем ограждения земной поверхности дамбами. Анализ обзора характеристик хвостохранилищ Южного Урала, представленный в табл. 2, свидетельствует о том, что хвостохранилища занимают значительные площади по отводу земель, а мощность хвостов, складированных в них, достигает 40 м. Такие геометрические параметры определяют необходимость постоянного наращивания дамб и поддержания стабильной гидротехнической ситуации на объектах. Кроме этого, данные сооружения являются объектами повышенной опасности, так как при их формировании и функционировании происходит загрязнение воздуха в результате ветровой эрозии, подземных и поверхностных вод, почвенного покрова на обширных территориях, а иногда при прорыве дамб возникают серьезные техногенные аварии, сопровождающиеся растеканием уложенного в сооружение материала и воды.

Несмотря на огромный ресурсный потенциал, отходы горно-обогатительного производства в России либо утилизируются в составе производственного цикла рудников, выступая в качестве материала для закладки и забутовки выработанных пространств, отсыпки балласта и дамб хвостохранилищ, либо используются как сырье для стройиндустрии. Широкое распространение в настоящее время находит использование выработанных карьерных пространств и подземных выработок в качестве емкостей для заполнения текущими хвостами обогащения. В свете решения проблем комплексного освоения недр данные решения являются не совсем правильными, поскольку не позволяют использовать огромный потенциал данных ресурсов, что, в свою очередь, приводит к их безвозвратной потере.

Таким образом, проблема размещения дисперсных отходов обогащения в настоящее время представляет собой одну из актуальных и жизненно важных для России экономических и экологических проблем. Решение данной проблемы требует применения новых подходов и методов исследования.

Для решения перечисленных задач проводились исследования в рамках научного направления, заключающегося в формировании из отходов добычи и переработки руд техногенных образований с предварительно заданными и обоснованными структурными и технологическими характеристиками [2].

В рамках этого была выдвинута идея заполнения текущими хвостами обогащения Учалинской обогатительной фабрики емкостей определенного размера, изготовленных из специального материала марки Geolon (геотекстиль). Данный материал состоит из нитей полипропилена (PP) высокой плотности, соединенных в прочную ткань с устойчивым положением нитей относительно друг друга, имеющих уникальную структуру пор, которые обеспечивают удержание шламовых частиц малого размера и отвод из них свободной влаги. Данные емкости изготавливаются из высокопрочной фильтрующей ткани, устойчивой к колоссальным внутренним нагрузкам, механическим повреждениям, воздействию низких температур и ультрафиолетовым лучам.

Таблица 2

Характеристика хвостохранилищ Южного Урала

Наименование	Ед. изм.	БМСК		Учалинский ГОК	Бурибаевское РУ	Гайский ГОК
		Новое	Старое			
1. Площадь по отводу земли	га	146,2	23,5	113	31	190
2. Мощность вертикальная	м	до 25	до 22	до 21	до 18	до 40
3. Длина	м	1560	740	1700	600	-
4. Ширина	м	600	350	750	600	-
5. Период эксплуатации	г	1966-2005	1959-1966	1969-наст. вр.	1942-наст. вр.	до 2010
6. Ориентировочные запасы	млн т	14	4,5	40,8	5,5	40
7. Содержание основных элементов:						
медь	%	0,2	0,24	0,22	0,45	0,3
цинк	%	0,52	0,43	0,63	0,21	0,23
сера	%	21,2	26,5	23,1	25,59	26,6
железо	%	34,3	28	29,49	23,12	13,87
золото	г/т	0,8	1	0,6	1,2	0,7
серебро	г/т	18	20	8,5	10,3	4,0

Емкости из геотекстиля, заполненные грунтом, применяются при строительстве гидротехнических сооружений – дамб и защитных заграждений, а в последнее десятилетие находят применение при обезвоживании разнообразных по происхождению суспензий (пульпа, шлам, осадок, ил) [3].

Принцип предлагаемой к внедрению технологии состоит в закачке текущих хвостов обогащения в контейнер по пульпопроводу, обезвоживании за счет стока свободной воды в течение определенного времени и новых подкачек от 1 до 5 раз пульпы до полного

заполнения емкости. После заполнения контейнера пульпой в нем начинается процесс консолидации обезвоживаемого материала. Влажность определяется природой помещенного материала, но активная стадия эксплуатации контейнера прекращается при достижении хвостами текучепластичной консистенции (рис. 1).



Рис. 1. Заполнение пульпой контейнера Geotub

Основные преимущества использования емкостей из геотекстиля при активной утилизации текущих хвостов обогащения:

- промплощадка не требует производства вскрышных работ, быстро возводится и ликвидируется;
- контейнер не принимает атмосферные осадки в значимом количестве;
- после цикла замораживания-оттаивания происходит сход выкристаллизовавшейся влаги, и материал может вновь при необходимости приобретать сыпучие свойства;
- контейнеры подлежат многослойной укладке, это позволяет расти залежи обезвоженного материала вверх;
- заполнение контейнеров осуществляется насосом или простыми методами гидромеханизации;
- обезвоживание можно производить непосредственно на месте утилизации или складирования отходов;
- контейнер способен принимать в себя фракции любого размера, твердости и плотности;
- процесс обезвоживания не требует энергопотребления;
- затраты на строительство инфраструктуры минимальны.

Таким образом, предлагаемая технология, являясь достаточно экологически чистым способом обезвоживания жидких отходов (рис. 2), может стать альтернативой аппаратным методам обезвоживания хвостов на обогатительных фабриках. Кроме того, она дает возможность складировать обезвоженный материал в виде высокопрочных конструкций, возводить высоконагружаемые полигоны, исключить пыление дисперсных отходов обогащения при высыхании и снизить экологическую нагрузку на промплощадки горно-обогатительных предприятий и способствовать формированию рекреационных ландшафтов.

Для целенаправленного формирования техногенных месторождений из текущих хвостов обогащения медноколчеданных руд

была выдвинута идея послойной укладки разнокачественных по составу горных пород и использование для их орошения кислых минерализованных рудничных вод. Геотубы, содержащие сульфидные минералы и прослой карбонатсодержащих пород, позволят сформировать зоны активной миграции ценных пород на восстановительном геохимическом барьере. По мере необходимости каркас из геотуб можно разобрать, как «конструктор», вскрыть посредством разреза геотекстиля, а ценные компоненты, накопленные при вторичном обогащении, извлекать с использованием традиционных или химических методов обогащения, либо с использованием физико-химических геотехнологий.



Рис. 2. Процесс обезвоживания пульпы

В лаборатории МГТУ им. Г.И. Носова были проведены исследования, направленные на изучение фильтрационных характеристик текущих хвостов обогащения, уложенных в геотекстильный контейнер. Цель проведения серии опытов заключалась в тестировании водоотдающих свойств текущих хвостов обогащения, определение продолжительности обезвоживания, количество и качество получаемого фильтрата.

Для определения фильтрационных характеристик были смоделированы условия, близкие к реальному процессу обезвоживания. В геотекстильную емкость объемом 5 дм³ заливались текущие хвосты обогащения с разным соотношением твердой и жидкой фаз. Процесс фильтрации был разделен на 3 этапа. Продолжительность I этапа как наиболее активной фазы отделения жидкости составляла 10 мин, II и III этапа по – 5 мин. По завершению каждого этапа производились замеры отфильтрованной влаги. Результаты данных замеров представлены в табл. 3. По полученным результатам были построены графики изменения объема отфильтрованной влаги во времени (рис. 3). Установлено, что разные соотношения твердой и жидкой фаз не влияют на эффективность обезвоживания хвостов в мешках Geotube, так как основной объем жидкости (80% и более) стекает уже на первом этапе за первые 10 мин.

Таблица 3

Результаты замеров фильтрации в мешке Geotube

Отношение Т:Ж	Масса сухих хвостов, гр	Объем исходной воды, мл	Количество воды, отфильтрованной на I этапе, %	Объем воды, отфильтрованной на II этапе	Объем воды, отфильтрованной на III этапе	Объем конечного фильтрата, мл	Время фильтрации, мин
1:0,5	1000	500	60,0	13,0	8,0	405	30
1:1	1000	1000	80,0	6,0	4,0	900	30
1:2	1000	2000	87,50	3,5	2,25	1850	30
1:3	1000	3000	91,0	2,17	1,17	2830	30

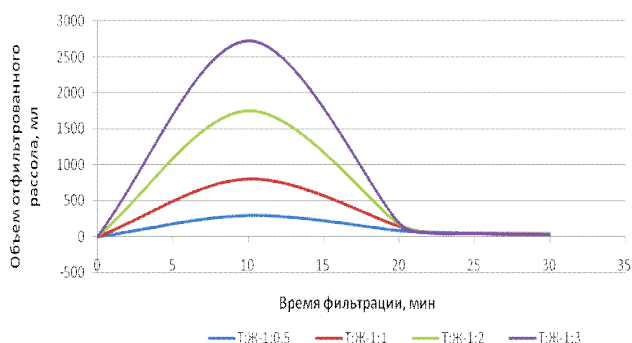


Рис. 3. Зависимости скорости фильтрации воды при разных соотношениях твердой и жидкой фазы

То есть процесс обезвоживания хвостов обогащения в мешках Geotube эффективно протекает при разных соотношениях фаз.

Таким образом, реализация данной идеи позволит целенаправленно формировать разные по составу техногенные месторождения из текущих хвостов обогащения за счет создания многообразных геохимических барьеров. Использование новых геоматериалов позволит формировать кластерные устойчивые геоструктуры, решая при этом проблемы получения в будущем дополнительной товарной продукции за счет

вторичного обогащения; сохранения качества отходов путем формирования техногенного месторождения с заданными технологическими параметрами; сокращения площади отчуждаемых земель, занимаемых под хвостохранилища; снижения экологического воздействия на окружающую среду. Таким образом, целенаправленное формирование техногенных месторождений с устойчивой структурой является важной народно-хозяйственной проблемой, решение которой будет определять перспективу и стратегию дальнейшего развития горно-обогатительных предприятий.

Список литературы

1. Новые решения проблемы комплексного освоения рудных месторождений / Рыльникова М.В., Илимбетов А.Ф., Радченко Д.Н., Милкин Д.А. // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2006. №4. С. 8–13.
2. Трубецкой К.Н., Уманец Б.Н. Комплексное освоение техногенных месторождений // Горный журнал. 1992. №1. С. 12–16.
3. Принцип работы контейнеров Geotube // w.w.w.admir-ea.ru.

Bibliography

1. Rylnikova M. V., Ilimbetov A.F., Radchenko D.N., Milkin D.A. New of a solution of a problem of complex development of ore deposits//the Bulletin of Magnitogorsk state technical university of G.I. Nosova. № 4 2006 P. 8–13.
2. Trubetskoy K.N., Umanets B.N. Complex development of technogenic deposits // Mountain magazine. 1992. №1. P. 12–16.
3. The Principle of work of containers Geotube // w.w.w.admir-ea.ru.

УДК 669.337

Каримова Л.М., Кайралапов Е.Т., Жумашев К.Ж.

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОГЕННОСТИ ОБЖИГА МЕДНОГО СУЛЬФИДНОГО КОНЦЕНТРАТА

Проведена оптимизация процесса обжига бедных медно-сульфидных концентратов в условиях автогенного режима окисления. Изучена зависимость максимальной температуры автогенного обжига при различных скоростях подачи смеси воздуха и кислорода.

Ключевые слова: медно-сульфидный концентрат, автогенность обжига, кислород.

The optimization of the roasting process of poor copper-sulfide concentrate in autogenous oxidation was fulfilled. The dependence of maximum temperature of autogenous roasting on the velocity of air-oxygen mix input was investigated.

Key words: copper-sulfide concentrate, autogenous roasting, oxygen.

Использование кислорода воздуха в ряде технологических процессов является необходимым. Особенно значительные результаты получены при применении воздуха, обогащенным кислородом, к существующим и вновь разрабатываемым процессам в металлургии цветных металлов.

Вовлечение в сферу производства забалансовых медно-сульфидных руд по разрабатываемой авторами технологии связано с получением бедного некондиционного концентрата и его переработкой по схеме «обжиг-выщелачивание», что требует поиска путей обеспечения автогенности процесса. Такая постановка задачи связана с ограниченным содержанием сульфидной серы и необходимостью выбора обжигового агрегата для обеспечения температурных условий сульфатизации.

Известно, что наиболее энергосберегающим агрегатом является шахтная печь, где создаются условия противотока обжигаемого материала и отходящих га-

зов. Поэтому лабораторные исследования проводили в шахтной электропечи, имеющей реактор из кварцевой трубки диаметром 40 мм. В качестве исследуемого материала использовали черновой флотоконцентрат с гранулометрическим составом по классу – 0,074 мм (выход 60,3%), с химическим составом (%): Cu – 4,3; S – 49; Fe – 3,18; CaO – 3,05; Na₂O – 1,52; K₂O – 1,20. Шихту окатывали водой в грануляторе, имеющем чашу диаметром 0,4 м. Фракции гранул необходимого размера отсеивали на ситах. Внутрь реактора помещали корзинку с гранулами (навеска 20,0 г) крупностью 8 мм, затем из баллона подавали гелий со скоростью 100 см³/с для вытеснения воздуха до достижения начальной температуры обжига – 400 °С. По мере достижения температуры одновременно прекращали подачу гелия и отключали электрообогрев, подавая смесь воздуха и кислорода при постоянном общем расходе 100 см³/с через ротаметр. Соотношение воздуха и кислорода варьировали в пределах от 0

до 100 см³/с по отношению к кислороду и смесь подавали до снижения температуры 400°С. Затем корзину с гранулами извлекали и охлаждали в эксикаторе во избежание доокисления огарка.

Результаты экспериментов обжига медного сульфидного концентрата приведены на рис. 1. На рис. 2 показаны зависимости температуры обжига от времени ее достижения и от расхода смеси воздуха и кислорода.

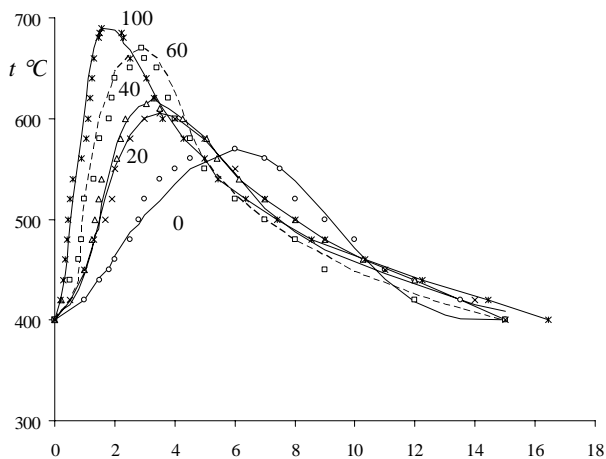


Рис. 1. Зависимость температуры обжига медного сульфидного концентрата от продолжительности и расхода смеси воздуха и кислорода, см³/с: точки – экспериментальные данные; линии – по уравнениям (табл.1)

Как видно из рис. 1, 2, температурный предел обжига зависит от соотношения кислорода и воздуха, и увеличение доли первого приводит к повышению максимальной температуры.

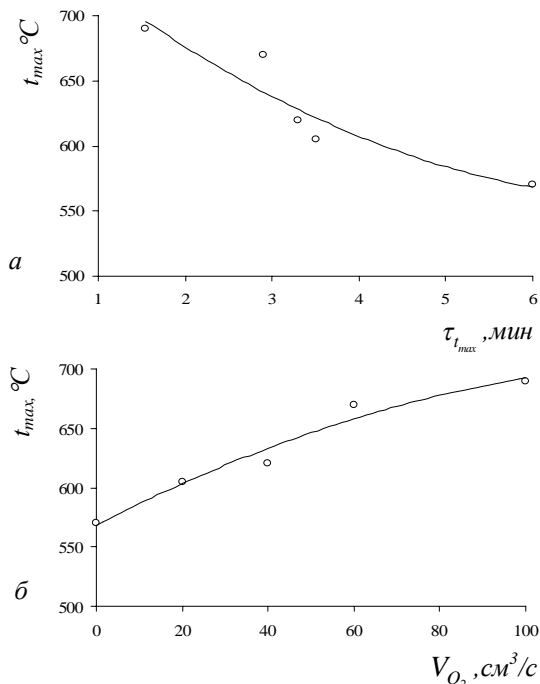


Рис. 2. Зависимости максимальной температуры обжига от времени ее достижения (а) и от расхода смеси воздуха и кислорода (б)

Общий вид зависимостей рис. 1 предлагается в форме с фиксированным положением максимума, x_0, y_0 [1]:

$$y = y_0 (x^{e/\ln x_0} e^{-x^{1/\ln x_0}})^n, \tag{2}$$

где остается неизвестным показатель n.

Обработку экспериментальных данных x_i, y_i проводили путем линеаризации зависимости (2) с обозначением

$$X_i = x_i^{e/\ln x_0} e^{-x_i^{1/\ln x_0}} \tag{3}$$

и ее логарифмированием

$$\ln y_i = \ln y_0 + n \ln X_i, \tag{4}$$

откуда находятся значения n_i для всех точек, кроме $x=0, y=0$ и x_0, y_0 .

В результате получены математические выражения, которые можно использовать для вывода математической модели процесса обжига (см. табл. 1). Адекватность полученных зависимостей (см. рис. 1, 2) определяли по коэффициенту корреляции R и его значимости t_R .

Таблица 1

Коэффициент корреляции R и его значимость t_R для частных функций продолжительности и максимальной температуры обжига медного концентрата

Функции	R	Условие $t_R > 2$
$t = 570(\tau^{e/\ln 6} e^{-\tau^{1/\ln 6}})^{-2,412 \cdot 10^{-2} \tau^2 + 0,433 \tau - 0,3674}$ для $V=0 \text{ см}^3/\text{с}$	0,9774	95,540 > 2
$t = 605(\tau^{e/\ln 3,5} e^{-\tau^{1/\ln 3,5}})^{-1,5 \cdot 10^{-3} \tau^2 + 0,025 \tau + 0,3912}$ для $V=20 \text{ см}^3/\text{с}$	0,9906	218,80 > 2
$t = 620(\tau^{e/\ln 3,30} e^{-\tau^{1/\ln 3,30}})^{-0,0102 \tau^2 + 0,1104 \tau + 0,396}$ для $V=40 \text{ см}^3/\text{с}$	0,9890	204,60 > 2
$t = 670(\tau^{e/\ln 2,9} e^{-\tau^{1/\ln 2,9}})^{-5,8 \cdot 10^{-3} \tau^2 + 0,0546 \tau + 0,3748}$ для $V=60 \text{ см}^3/\text{с}$	0,985	115,0 > 2
$t = 690(\tau^{e/\ln 1,55} e^{-\tau^{1/\ln 1,55}})^{0,0012 \tau^2 - 0,0308 \tau + 0,1791}$ для $V=100 \text{ см}^3/\text{с}$	0,9984	238,7 > 2
$t_{max} = -0,0064V^2 + 1,877V + 568,28$	0,9337	98,2 > 2
$t_{max} = 3,701\tau^2 - 56,581\tau + 774,43$	0,9089	78,6 > 2

Полученные уравнения (по рис. 2) для описания совокупности действующих факторов обобщаются согласно [2, 3] в виде их произведения с нормировкой по центральному экспериментальному значению, т.е. в данном случае центральная точка является средним значением максимальной температуры 631. Тогда обобщенное уравнение выразится как

$$t_{max} = (3,701\tau^2 - 56,581\tau + 774,43) \times \frac{1,877V - 0,0064V^2 + 568,28}{631}, \tag{4}$$

где t_{max} – максимальная температура обжига.

С помощью обобщенного уравнения (4) находим максимальную температуру обжига, задавая различные значения расхода смеси воздуха и кислорода, а также продолжительность обжига (табл. 2).

Таблица 2

Достигаемая расчетная температура обжига сульфидных медных концентратов

t, мин	V _{O₂} , см ³ /с						
	0	10	20	40	60	80	100
1	649,438	670,558	689,831	723,974	752,266	764,215	774,699
1,5	628,139	648,566	667,207	700,231	727,595	739,152	749,292
2,5	590,537	609,742	627,266	658,313	684,039	694,904	704,438
3	574,235	592,909	609,95	640,14	665,155	675,721	684,991
3,5	559,598	577,796	594,402	623,823	648,201	658,497	667,531
4	546,626	564,403	580,624	609,363	633,176	643,233	652,057
4,5	535,32	552,729	568,615	596,759	620,08	629,929	638,571
5	525,68	542,775	558,375	586,012	608,913	618,585	627,071
5,5	517,705	534,541	549,904	577,122	599,676	609,201	617,558

Как показывают результаты таблицы, с увеличением расхода смеси воздуха и кислорода максимальная температура закономерно увеличивается, а с увеличением продолжительности обжига – уменьшается, так как по мере выгорания серы в концентрате количество выделенного тепла уменьшается.

По полученным уравнениям температуры от продолжительности обжига (см. рис. 1, табл. 1) возможно рассчитать температуру обжига сульфидных медных концентратов в зависимости от расхода воздуха и кислорода от продолжительности обжига (табл. 3).

Таким образом, проведена широкая вариация условий обжига некондиционных медных сульфидных концентратов при автогенном режиме окисления. Установлено, что в интервале температур 400–700°C скорость окисления весьма значительно зависит от кислорода. Увеличение расхода кислорода от 20–100 см³/с ускоряет

процесс окисления в 1,5-2 раза по сравнению с окислением воздухом. Во всех случаях оплавления гранул и их спекания не наблюдалось.

Таблица 3

Зависимость расчетной температуры обжига сульфидных медных концентратов по мере продолжительности процесса при различном расходе кислорода

t, мин	V _{O₂} , см ³ /с				
	0	20	40	60	100
2	463,87	551,99	575,12	646,30	688
3	504,36	600,41	615,47	669,54	640
4	535,04	601,36	605,58	625,45	580
5	548,66	578,69	580,24	558,07	560
6	569,99	545,89	540,84	524,00	520
8	538,15	487,13	500,71	479,31	480
10	471,81	446,13	460,85	447,8	460
12	415,72	442,03	440,07	425,76	440
15	399,8	408,24	400,24	398,74	415

Список литературы

1. Малышев В.П. Детерминация экстремальной зависимости при аппроксимации экспериментальных данных //Новости науки Казахстана. 2010. №1. С. 21–26.
2. Малышев В.П. Математическое описание результатов многофакторного эксперимента, проведенного по методу Зейделя-Гаусса // Вестник АН Каз ССР. 1978. № 4. С. 31–38.
3. Малышев В.П. Кинетический и технологический анализ обобщающих математических моделей химико-металлургических процессов // Доклады Национальной академии наук РК. 2008. № 2. С. 13–18.

Bibliography

1. Malyshev V.P. The determination of extreme dependences by the approximation of experimental data //News of the science Kazakhstan.2010. № 1. P.21–26.
2. Malyshev V.P. The Mathematical description result multivariable of the experiment, called on method Zeydelya-Gaussa // Herald of the Academy of Sciences Kaz SSR. 1978. №4. P. 31–38.
3. Malyshev V.P. Kinetic and technological analysis generalizing mathematical models chemist-metallurgical processes // Reports to National academy of the sciences RK. 2008. №2. P. 13–18.

МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

УДК 669.162.16

Сibaгатуллин С.К., Харченко А.С., Теплых Е.О., Степанов Е.Н., Мезин Д.А., Фетисов В.Б.

ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОКСОВОГО ОРЕШКА РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Представлены результаты исследований прочностных характеристик, реакционной способности и показателей технического анализа коксового орешка различного вида. Орешек, выделенный из вновь испеченного кокса, содержит на 20% больше фракции 19–25 мм по сравнению с полученным путем отсева у доменной печи.

Коксовый орешек сухого тушения имеет более высокую холодную и горячую прочности, повышенное содержание углерода, пониженную реакционную способность по сравнению с орешком мокрого тушения.

Ключевые слова: коксовый орешек, холодная прочность и горячая прочности, реакционная способность.

The results of researches of strength characteristics, reactivity and indicators of technical analysis of coke nut of various types are presented here. The coke nut, selected from the newly baked coke, contains 20% more fraction of 19–25 mm compared to the coke nut received by dropping from the blast furnace.

The coke nut of dry extinguishing has higher cold and hot strength, increased carbon content, the lower reactivity compared to the coke nut of wet extinguishing.

Key words: coke nut, drainage capacity, coke.

В доменную плавку коксовый орешек может поступать различного вида: выделенный из вновь испеченного кокса или отсеянный у печи, сухого или мокрого тушения. От показателей его качества зависит допустимый расход и эквивалент замены кокса [1,2]. В связи с этим определили показатели технического анализа, ситовый состав, холодную и горячую прочности.

Ситовый состав

Коксовый орешек содержит более 50% фракции 19–25 мм (табл. 1). Это выше средних величин эквивалентной по поверхности крупности агломерата и окатышей. Поэтому использование орешка может способствовать улучшению газопроницаемости шихты в верхней части печи [3].

Таблица 1

Ситовый состав коксового орешка различного происхождения

Вид коксового орешка	Содержание (%) по классам крупности (мм)			
	22,4-25	19-22,4	13-19	10-13
Отсеянный из вновь испеченного кокса: сухого тушения	30,9	42,1	22,2	4,8
мокрого тушения	29,7	40,6	23,9	5,8
Отсеянный у доменной печи: сухого тушения	25,3	30,7	34,8	9,2
мокрого тушения	22,1	26,4	38,7	12,8

Из табл. 1 видно, что орешек, выделенный из вновь испеченного кокса, содержит на 20% больше фракции 19–25 мм по сравнению с полученным путем отсева у доменной печи.

Холодная прочность

Ее характеризовали структурной прочностью, определяемой по ГОСТ 9521-74, и результатами испытаний в галтовочном барабане, используемом при вычислении горячей прочности CSR. Полученные

данные (табл. 2) свидетельствуют о том, что самой прочной является фракция 25–40 мм. Несколько уступает ей в прочности класс 10–25 мм. Структурная прочность кокса сухого тушения выше, чем мокрого. Средневзвешенные величины структурной прочности металлургического кокса сухого и мокрого тушения составили 80,4 и 78,7% соответственно. Средневзвешенная структурная прочность скипового кокса сухого тушения составила 79,8%, мокрого – 78%, то есть она была меньше прочности орешка.

Таблица 2

Структурная прочность кокса по фракциям, %

Фракция, мм	Вид кокса			
	Вновь испеченный		Отсеянный у доменной печи	
	сухого тушения	мокрого тушения	сухого тушения	мокрого тушения
> 80	77,5	75,8	–	–
60-80	79,7	77,6	–	–
40-60	80,5	78,9	–	–
25-40	86,9	86,1	87,0	86,6
10-25	86,2	85,5	86,7	85,8

Для определения холодной прочности в галтовочном барабане отбирали пробу исследуемого материала крупностью 19–22,4 мм, массой 0,2 кг, которую помещали в галтовочный барабан с частотой вращения 20 об/мин. Испытание длилось 30 мин, затем в течение 10 мин на вибрационном грохоте (ситане) отсеивали материал крупностью менее 9,5 мм. Надрешетный продукт взвешивали и определяли его количество в процентном соотношении от загруженной массы ($M_{>9,5}$, табл. 3). Для оценки стабильности этого показателя при последующих разрушениях оставшуюся массу коксового орешка снова поместили в галтовочный барабан и подвергли его аналогичному испытанию. Полученный результат представлен в табл. 3 показателем $M_{>9,5}$ (повторно).

Таблица 3

Холодная прочность коксового орешка, определенная в галтовочном барабане, %

Показатель	Вид коксового орешка			
	Вновь испеченный		Отсеянный у доменной печи	
	сухого тушения	мокрого тушения	сухого тушения	мокрого тушения
M _{>9,5}	83,8	80,1	84,6	80,8
M _{>9,5} (повторно)	90,5	89,9	91,8	90,4

Из табл. 3 видно, что класс кокса 10–25 мм сухого тушения имеет более высокую холодную прочность по сравнению с этим же классом мокрого тушения. Орешек, выделенный из вновь испеченного кокса, больше истирается по сравнению с орешком из отсева на доменных печах.

Коксовый орешек, испытанный в галтовочном барабане, повторно обладает меньшей истираемостью.

Горячая прочность и реакционная способность

Реакционную способность CRI и горячую прочность CSR определяли в соответствии с ГОСТ Р50921-2005. Константу скорости реакции взаимодействия углерода с CO₂ (PCK) – по ГОСТ 10089-89.

Кокс фракции 25–40 мм имеет минимальную реакционную способность и максимальную горячую прочность, а класс 10–25 мм, наоборот, минимальную CSR и максимальную CRI (табл. 4).

Таблица 4

Реакционная способность и горячая прочность кокса по фракциям

Параметры	Фракция, мм				
	>80	60-80	40-60	25-40	10-25
Кокс сухого тушения: CRI, %	30,3	30,0	29,5	29	30,7
CSR, %	57,9	58,4	59,5	60,7	56,9
PCK, см ³ /(г·с)	0,27	0,26	0,24	0,22	0,29
Кокс мокрого тушения: CRI, %	31,7	31,5	31,1	30,5	32,1
CSR, %	55,9	56,2	57	58,2	55,1
PCK, см ³ /(г·с)	0,36	0,35	0,33	0,30	0,38
Кокс сухого тушения, отсеянный у доменной печи: CRI, %	–	–	–	29,3	31,0
CSR, %	–	–	–	60,1	56,4
PCK, см ³ /(г·с)	–	–	–	0,23	0,30
Кокс мокрого тушения, отсеянный у доменной печи: CRI, %	–	–	–	30,7	31,9
CSR, %	–	–	–	57,8	55,5
PCK, см ³ /(г·с)	–	–	–	0,31	0,37

В металлургическом коксе сухого тушения значения CSR и CRI составили 58,4 и 30 % соответственно (табл. 5). В коксе мокрого тушения горячая прочность была несколько меньше (56,2 %), реакционная способность выше (31,5 %).

Таблица 5

Реакционная способность и горячая прочность металлургического кокса и коксового орешка, %

Показатель	Металлургический кокс		Коксовый орешек			
			Вновь испеченный		Отсеянный у доменной печи	
	сухого тушения	мокрого тушения	сухого тушения	мокрого тушения	сухого тушения	мокрого тушения
CRI, %	30	31,5	31,2	32,3	31	32,1
CSR, %	58,4	56,2	55,9	54,8	56,4	55,1
PCK, см ³ /(г·с)	0,26	0,35	0,31	0,39	0,30	0,38

Технический анализ

Влажность кокса определяли по ГОСТ 27588-91, зольность – по ГОСТ11022-95, содержание летучих по ГОСТ 6382-2001, серы по ГОСТ 8606-93. Полученные результаты анализа приведены в табл. 6 и 7.

Таблица 6

Содержание компонентов в металлургическом коксе и коксовом орешке по техническому анализу, %

Показатель	Металлургический кокс		Коксовый орешек			
			КХП		Рассев у доменной печи	
	сухого тушения	мокрого тушения	сухого тушения	мокрого тушения	сухого тушения	мокрого тушения
A ^d	11,8	12,9	13,1	13,7	13,0	13,5
V ^{daf}	1,3	1,4	1,5	1,7	1,6	1,9
W ^r	0,2	9,2	0,3	16,4	0,2	12
C	83,85	83,21	83,18	82,88	83,64	82,13
S	0,59	0,60	0,55	0,60	0,59	0,60

Таблица 7

Содержание компонентов в различных по крупности фракциях кокса, %

Параметры	Фракция, мм				
	>80	60-80	40-60	25-40	10-25
Кокс сухого тушения: A ^d	12,4	12,8	12,8	13	13,2
V ^{daf}	1,4	1,2	1,1	1,1	1,5
W ^r	–	–	–	–	–
C	83,9	83,71	83,68	83,69	83,57
S	0,48	0,51	0,55	0,51	0,51
Кокс мокрого тушения: A ^d	12,9	13,1	12,7	13,1	13,3
V ^{daf}	1,4	1,6	1,3	1,4	1,9
W ^r	2,84	6,52	7,08	13,84	16,1
C	83,67	83,03	83,23	82,73	82,65
S	0,48	0,54	0,56	0,57	0,55
Кокс сухого тушения, отсеянный у доменной печи: A ^d	–	–	–	13,1	13,8
V ^{daf}	–	–	–	1,1	1,7
W ^r	–	–	–	–	–
C	–	–	–	82,77	82,31
S	–	–	–	0,59	0,6
Кокс мокрого тушения, отсеянный у доменной печи: A ^d	–	–	–	13,5	14,3
V ^{daf}	–	–	–	1,6	1,9
W ^r	–	–	–	9,1	11,8
C	–	–	–	81,92	81,57
S	–	–	–	0,59	0,60

Согласно табл. 7 с уменьшением крупности кокса в нем увеличивается содержание золы и летучих, повышается влажность, уменьшается содержание углерода.

Кокс класса 10–25 мм по сравнению с металлургическим коксом имеет пониженное содержание углерода, повышенное – влаги, золы и летучих. Орешек сухого тушения по сравнению с орешком мокрого тушения обладает меньшим содержанием золы, летучих, серы и большим – углерода.

Заключение

Коксовый орешек сухого тушения имеет более высокую холодную и горячую прочности, повышенное содержание углерода, пониженную реакционную способность по сравнению с орешком мокрого тушения.

Орешек, выделенный из вновь испеченного кокса, содержит на 20% больше фракции 19–25 мм по сравнению с полученным путем отсева у доменной печи.

Кокс класса 10–25 мм по сравнению с металлургическим коксом обладает более высокой холодной прочностью, повышенной реакционной способностью и пониженной горячей прочностью.

Список литературы

1. Результаты использования в доменной печи коксового орешка с одновременным улучшением качества скипового кокса / Сибатуллин С.К., Харченко А.С., Полинов А.А., Семенов М.А., Бегинюк В.А. // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2010. № 2. С. 24–27.
2. Об условиях, необходимых для эффективного использования коксового орешка в шихте доменной печи / А.С. Харченко, Е.О. Теплых, А.А. Полинов, С.А. Грищенко, М.А. Семенов, В.Л. Терентьев // Теория и технология металлургического производства : межрегион. сб. науч. трудов. № 10. Магнитогорск : ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. С. 26–30.
3. Кузин А.В. Коксовый орешек – компенсирующее мероприятие для улучшения газопроницаемости «сухой» зоны доменной печи. Донецк : Наука Праці Донецк. нац. ун-та, 2007. № 9. С. 31–41.

Bibliography

1. The results of the use of coke nut with the simultaneous improvement of the skip coke quality in a blast furnace / Sibagatullin S.K., Kharchenko A.S., Polinov A.A., Semenyuk M.A., Beginyuk V.A. // Vestnik MSTU named after G.I. Nosov. 2010. № 2. P. 24–27.
2. Kharchenko A.S., Teplykh E.O., Polinov A.A. and others. About conditions needed for the efficient use of coke nut in the burden of a blast furnace. Interregional collection of scientific papers. Theory and technology of metallurgical production № 10. Magnitogorsk MSTU named after G.I. Nosov, 2010. P. 26–30.
3. Kuzin A.V. Coke nut – the compensating event to improve the gas permeability of the «dry» zone of a blast furnace. Science Pratsi. Donetsk: National University, 2007. № 9. P. 31–41.

УДК 541.12.036:628.74

Черчинцев В.Д., Савина Ю.Е.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АБСОРБЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ УЛАВЛИВАНИЯ ДИОКСИДА СЕРЫ ИЗ ГАЗОВ АГЛОМЕРАЦИОННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Абсорбционные методы очистки отходящих газов от сернистых соединений в современной металлургии получили широкое распространение. В чёрной металлургии, а особенно в агломерационном производстве, важной проблемой является очистка отходящих газов от диоксида серы. В течение последних десятилетий ведётся поиск эффективных методов очистки газов. Полый форсуночный абсорбер, орошаемый известковым раствором, является наиболее перспективным. Однако такие проблемы, как зарастание оборудования, коррозионный и эрозийный износ форсунок, где в качестве поглотителя используется известковая суспензия, не были решены до конца. При решении проблемы зарастания стенок скруббера и форсунок необходимо использовать добавки в поглотительный раствор – природные и аминовые кислоты, адипиновую кислоту, тиосульфат натрия, оксид магния и другие.

Ключевые слова: загрязнение, очистка газов, диоксид серы, абсорбер, абсорбция, форсунок.

Absorption methods of the off-gases purification from sulfur compounds are widespread in modern metallurgy. The cleaning of the off-gases from sulfur dioxide is an important problem in the siderurgy, especially in the agglomeration production. In recent decades we have been searching for the effective methods of gases purification. The hollow spray absorber, irrigated with lime mortar is the most promising one, but there is still no solution for such problems as the overgrowing of the equipment, and corrosive and erosive wear of nozzles, where the lime slurry is used as the absorber. To solve the problem of the overgrowing of the walls of the scrubber and nozzles it is necessary to use additives in absorption solution - the natural and amino acids, adipic acid, sodium thiosulfate, magnesium oxide, and others.

Key words: pollution, gas cleaning, sulfur dioxide, scrubber, absorption, nozzles.

В чёрной металлургии, а особенно в агломерационном производстве, важной проблемой является очистка отходящих газов от диоксида серы. При превышении концентрации диоксида серы в воздухе выше нормы возрастает число смертельных случаев, в первую очередь среди людей старшего поколения и лиц, страдающих заболеваниями дыхательных путей. Кроме того, диоксид серы в присутствии 3-4 бенз(а)пирена вызывает раковые опухоли. Таким образом, диоксид серы является ко-канцерогеном (т.е. веществом, усиливающим действие канцерогена).

В течение последних десятилетий ведётся поиск

эффективных методов очистки газов. Существует множество различных методов и способов очистки: в качестве сорбента используется известняк, обожжённый магнитит, кальцинированная сода, окись магния, окись цинка, водный раствор сульфита и бисульфита аммония и другие. На различных установках проводились испытания таких абсорберов, как аппарат распыливающего типа (АРТ), горизонтальная труба Вентури, аппарат с шаровой насадкой и полый форсуночный абсорбер, двухконтактный скруббер потока фирмы Mitsubishi и др. [1].

В настоящее время применяемые методы очистки

газов от диоксида серы (аммиачный, содовый, магнетитовый и др.) позволяют получать ценные попутные продукты (серную кислоту, жидкий SO₂, удобрения). Однако эти методы экономически целесообразно использовать только при относительно высоких концентрациях SO₂ в очищаемых газах. При низких концентрациях улавливание SO₂ более целесообразно производить с применением известняка – доступного и дешевого реагента.

Наиболее подходящими аппаратами для очистки агломерационных газов являются полые форсуночные скрубберы, имеющие небольшое гидравлическое сопротивление, что позволяет очищать газы от SO₂ без установки дополнительных тягодутьевых средств. Кроме того, полые форсуночные скрубберы отличаются простотой конструкции и надежностью в работе.

Основными факторами, определяющими эффективность и технико-экономические показатели работы полых форсуночных скрубберов, являются скорость потока газа в скруббере, плотность орошения, дисперсный состав диспергируемой поглощающей жидкости, высота активной (орошаемой) зоны аппарата [2].

Наибольшее влияние на степень очистки газа оказывает плотность орошения, наименьшее – давление жидкости перед форсунками, поэтому для улучшения очистки газа целесообразнее увеличивать расход жидкости, а не ее давление, которое должно составлять 1,5–2 атм, что обеспечивает нормальную работу центробежных форсунок.

Таким образом, в полых форсуночных скрубберах можно обеспечить очистку газов от SO₂ на 90 % и более путем применения суспензии известняка, однако для этого требуется значительный расход воды, используемой для приготовления этой суспензии.

Массовый расход абсорбента (L) находится по уравнению [1]:

$$L = Q \cdot \frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2}, \quad (1)$$

где Q – расход газовой смеси, м³/с; Y₁, Y₂ – соответственно начальная и конечная концентрация загрязняющего вещества в газовой смеси, кг/м³ газа; X₂, X₁ – соответственно начальная и конечная концентрация загрязняющего вещества в абсорбенте, кг/м³ абсорбента, X₁ = 0.

С целью оптимизации работы сероулавливающих установок были проведены исследования по определению закономерности движения капель раствора известкового молока в скруббере при абсорбции диоксида серы.

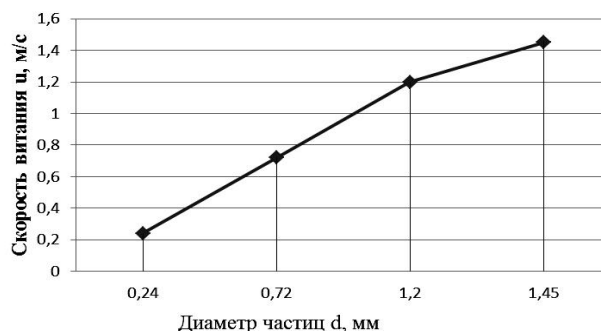
Образующиеся при распылении жидкости капли имеют значительную начальную скорость, соответствующую скорости струи, из которой они образовались. Постоянная скорость падения капли (скорость витания):

$$u = \sqrt{\frac{4gd(\rho_{ж} - \rho_{г})}{3\varepsilon\rho_{г}}}, \quad (2)$$

где d – диаметр капли; ρ_ж и ρ_г – плотности жидкости и газа, кг/м³; ε – коэффициент сопротивления.

По литературным данным при плотности орошения в абсорбере 3–6 л/м³, что соответствует расходу орошающей жидкости 20–40 м/ч, можно принимать ε = 1,5–1,65. Тогда скорость витания частиц будет колебаться в пределах от 0,25 до 1,45 м/с.

При использовании форсунок грубого распыла образуются капли диаметром 0,1–1,0 мм. Зависимость скорости витания частиц от их диаметра показана на графике.



С увеличением диаметра капель скорость их осаждения возрастает, но при этом уменьшается коэффициент массопередачи.

При этом скорость подачи газа не должна превышать скорость движения жидкости, т.к. при этом будет меняться направление движения капель на обратное, что увеличит каплеунос. Поэтому скорость газа не должна превышать 1,45 м/с.

Аппарат для очистки газов от диоксида серы, орошаемый известковым раствором, является наиболее перспективным. Однако возникают такие проблемы, как отложение продуктов реакции на рабочих поверхностях скруббера.

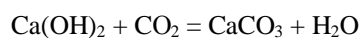
При решении этих проблем можно использовать добавки в поглощающий раствор. В качестве добавок могут выступать природные и аминовые кислоты, такие как триэтанолламин, винная и щавелевая кислота.

Имеются две важные модификации процесса улавливания диоксида серы с использованием соединений кальция. В одной из них применяют смесь известки со щелочной летучей золой, а в другой – смесь известняка со щелочной летучей золой. В рассматриваемых модификациях известь или известняк используют как добавки для поддержания рН шлама на необходимом уровне. Физико-химические и химические процессы, протекающие при этом, идентичны.

В известковых и известняковых системах были испытаны две важные добавки: адипиновая кислота и тиосульфат натрия. Было доказано, что эти добавки уменьшают образование отложений, повышают эффективность удаления диоксида серы и минимизируют колебания рН при изменении концентрации сернистого ангидрида. Ещё она важная добавка – оксид магния. Известь с оксидом магния оказалась отличным абсорбентом диоксида серы. Она даёт наименьшее образование сульфосодержащих отложений при высокой эффективности улавливания сернистого ангидрида.

Эти технические жидкости обладают большой буферностью, что объясняет минимальное образование отложений [3].

Так, при очистке аглозатов от диоксида серы в полых форсуночных скрубберах сероулавливающих установок ОАО «ММК» концентрация взвешенных веществ в газе колеблется в пределах от 0,8 до 0,22 г/м³, а рН – от 8,6 до 9,0. При введении мочевины в известковое молоко протекают реакции:



Согласно этим реакциям при концентрации известки в известковом молоке 40 г/л концентрация мочевины в поглощающей жидкости должна быть не менее 34,42 г/л.

При уменьшении концентрации известкового молока снижается образование карбонатов. В этом случае используется коэффициент, который был определен из соотношения концентрации мочевины к концентрации известкового молока, равный 0,8105.

Для защиты внутренней поверхности абсорбера от

коррозионного воздействия среды рекомендуется гуммировать эти поверхности антикоррозийными составами на основе резины, а скруббера, циркуляционные сборники, шламовые сборники, сборники известкового молока, каплеуловители, газоходы чистого газа должны быть из химически стойкого слоистого пластика.

Список литературы

1. Касаткин А.Г. Процессы и аппараты химической технологии. М.: ГХИ, 1961. С. 830.
2. Крыленко В.И., Белоконь С.М. Очистка агломерационных газов от сернистого ангидрида. М., 1971. С. 1 – 6.
3. Защита атмосферы от промышленных загрязнений: справочник: пер. с англ.: в 2 т. / под ред. С. Калверта и Г.М. Инглунда. М.: Metallurgia, 1988. С. 530 – 531.

Bibliography

1. Kasatkin A.G. Processes and Equipment in Chemical Technology. M.: CTI, 1961, P. 830
2. Kryilenko V.I., Belokon S.M. Waste Gas Cleaning from sulfur dioxide. M., 1971. P. 1 – 6.
3. Calvert S., Harold M. Englund. Handbook of air pollution technology. M.: Metallurgy, 1988. P. 530 – 531.

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.746.5.047

Мошкунов 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

Определение длины лунки жидкого металла в непрерывнолитых слябах из трубной стали с использованием эффекта «искусственного раздутия» заготовки.

Проведены опыты по «искусственному раздутию» непрерывнолитого сляба из трубной стали. Фактическая длина лунки жидкого металла оказалась больше расчетных значений.

Ключевые слова: непрерывнолитой сляб, лунка жидкого металла, эффект «искусственное раздутие».

Determination of the length to point of solidification in strands of Peritectic Low Alloyed steels for pipes using «Mini whale» effect. The experiments for artificial blowing-up («Mini whale») of pipe steel slabs were conducted. The actual length to point of solidification has appeared overvalued than calculated.

Key words: Cast slab, solidus front, «Mini whale» effect.

В ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» на стане «5000» изготавливается толстый горячекатаный лист класса прочности от К52 до К65 для производства труб. К листу предъявляются высокие требования по однородности свойств металла и отсутствию дефектов. Для их выполнения стан должен снабжаться высококачественной непрерывнолитой заготовкой толщиной 300 мм. Слябовая заготовка отливается в кислородно-конвертерном цехе на одноручьева МНЛЗ криволинейного типа с вертикальным участком производства фирмы «SMS Demag». На данной машине с целью улучшения качества металла осевой зоны сляба используется мягкое обжатие непрерывнолитой заготовки [1, 2]. Эффективность мягкого обжатия заготовки существенным образом зависит от правильности выбора места приложения обжатия по длине технологического канала МНЛЗ. Согласно рекомендациям фирмы-изготовителя оборудования выбор рационального места технологического канала МНЛЗ для осуществления мягкого обжатия заготовки должен осуществляться следующим образом. По расчетным данным, выдаваемым динамической системой управления вторичным охлаждением непрерывнолитой заготовкой, определяется номер сегмента зоны вторичного охлаждения (ЗВО), в котором заканчивается затвердевание металла. Мягкое обжатие сляба рекомендуется производить в предыдущих двух сегментах горизонтального участка МНЛЗ (вся ЗВО состоит из пятнадцати сегментов). С целью проверки правильности информации о длине лунки жидкого металла внутри сляба, рассчитываемой ЭВМ, ее фактической протяженности были проведены исследования с использованием эффекта «искусственного раздутия» слябовой заготовки.

Сущность этого метода состоит в следующем:

– вначале производится снижение скорости вытягивания сляба из кристаллизатора для того, чтобы

длина лунки жидкого металла внутри заготовки уменьшилась и конец лунки оказался перед сегментом, в котором будет искусственно вызываться раздутие сляба;

– после этого осуществляется открытие данного сегмента – при помощи гидроцилиндров все верхние ролики сегмента (шесть неприводных и один центральный приводной) приподнимаются на несколько миллиметров. В результате этого сила воздействия роликов на сляб резко снижается до некоторого минимального значения, фиксируемого динамической системой управления вторичным охлаждением непрерывнолитой заготовкой, при этом приводной ролик прокручивается вхолостую;

– затем скорость вытягивания заготовки из кристаллизатора повышается с целью увеличения протяженности лунки жидкого металла. Вследствие этого конец лунки перемещается в открытый сегмент и происходит раздутие сляба. При этом сила воздействия роликов на входе в сегмент резко возрастает. В данный момент времени доля жидкой фазы внутри заготовки составляет около 80 % [3] и соответствует «границе выливаемости», при которой еще возможна подпитка двухфазной зоны расплавом. Зная расстояние от поверхности жидкого металла в кристаллизаторе до входа в открытый сегмент, можно определить фактическую длину лунки жидкого металла в заготовке. При продвижении раздувшейся части сляба по сегменту крутящий момент на приводной ролик возрастает;

– для прекращения раздутия сляба скорость вытягивания заготовки снижается, протяженность лунки уменьшается, ее конец перемещается из открытого сегмента, сегмент медленно закрывается и исследование заканчивается.

С целью уточнения месторасположения конечной части лунки жидкого металла в непрерывнолитых

слябах разной толщины были проведены опыты с «искусственным раздутием» заготовок в процессе разлива трубой стали четырех плавов. Данные о химическом составе разливаемого металла представлены в табл. 1.

Значения основных параметров разлива трубой стали приведены в табл. 2.

Таблица 1

Химический состав металла опытных плавов
(% по массе)

Химический элемент	Условный номер плавки (опыта) / Марка стали			
	A / K60	B / K60	C / D32	D / D32
Углерод	0,07	0,07	0,10	0,10
Кремний	0,26	0,35	0,23	0,23
Марганец	1,66	1,66	0,96	0,94
Сера	0,002	0,003	0,003	0,003
Фосфор	0,009	0,011	0,014	0,009
Хром	0,026	0,045	0,053	0,030
Никель	0,185	0,269	0,042	0,026
Медь	0,181	0,172	0,069	0,033
Алюминий	0,025	0,040	0,038	0,045
Титан	0,015	0,014	0,003	0,002
Азот	0,008	0,005	0,005	0,005
Ниобий	0,048	0,047	0,026	0,023
Ванадий	0,048	0,053	0,006	0,002
Кальций	0,0013	0,0017	0,0020	0,0020
Водород (ppm)	2,4	2,5	2,5	2,4

Таблица 2

Основные параметры разлива трубой стали
опытных плавов

Параметр разлива	Условный номер плавки (опыта)			
	A	B	C	D
Размеры поперечного сечения сляба, мм:				
толщина	293,8	293,8	250	250
ширина	2500	2600	2050	2050
Скорость вытягивания сляба из кристаллизатора, м/мин	0,8	0,8	1,0	1,0
Температура металла в промежуточном ковше, °С	1538	1542	1549	1544
Температура ликвидус стали, °С	1517	1516	1520	1520
Температура солидус стали, °С	1482	1480	1482	1482
Номера сегментов ЗВО с мягким обжатием сляба	12, 13	12, 13	11, 12	12, 13
Толщина сляба до и после обжатия, мм	305,6 / 299,3	305,5 / 299,1	256,5 / 250,0	254,9 / 249,4
Величина мягкого обжатия, мм	6,3	6,4	6,5	5,5

В качестве характерного примера рассмотрим условия проведения опыта А. В процессе разлива

стали скорость вытягивания сляба из кристаллизатора была понижена с 0,80 до 0,75 м/мин, в результате чего протяженность лунки жидкого металла снизилась и оказалась меньше, чем расстояние от поверхности жидкого металла в кристаллизаторе до входа в тринадцатый сегмент ЗВО МНЛЗ. После этого был открыт тринадцатый сегмент. На рис. 1 показано изменение силы воздействия роликов тринадцатого сегмента на сляб в процессе разлива.

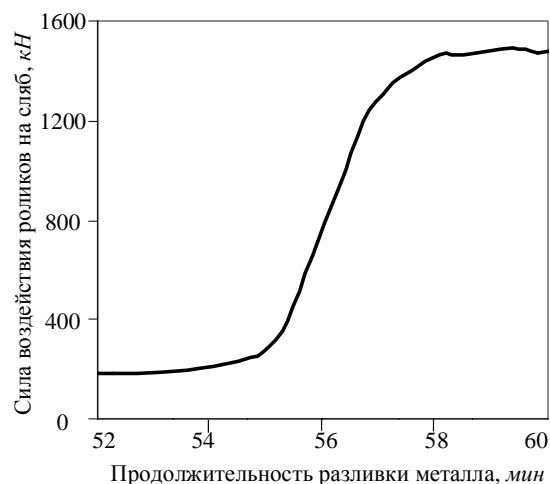


Рис. 1. Изменение силы воздействия роликов на сляб в тринадцатом сегменте ЗВО МНЛЗ

Из него видно, что при наличии полностью затвердевшего сляба сила воздействия приподнятых роликов открытого сегмента на заготовку минимальна и равна примерно 200 кН.

Скорость вытягивания заготовки повысили до 0,80 м/мин для того, чтобы лунка жидкого металла переместилась в открытый сегмент. Произошло раздутие сляба на 2,74 мм (с 305,25 до 307,99 мм), в результате чего сила воздействия роликов на сляб (см. рис. 1) возросла до 1470 кН, то есть в 7,35 раза. Таким образом, на входе в тринадцатый сегмент – на удалении 27,089 м от поверхности жидкого металла в кристаллизаторе располагалась заготовка, имеющая долю жидкого металла, равную примерно 0,8. В ней еще была возможна подпитка расплавом двухфазной области, что и вызвало образование раздутия сляба. На рис. 2 приведены расчетные данные о внутреннем строении слябовой непрерывнолитой заготовки, полученные динамической системой управления вторичным охлаждением непрерывнолитой заготовкой.

Из рис. 2 следует, что расчетное значение длины лунки с долей жидкого металла, равной 0,8, составляло 25,8 м, что было в 1,135 раза меньше, чем расчетная протяженность лунки жидкого металла (29,29 м). Исходя из предположения, что в реальной лунке это соотношение сохраняется, можно определить ее фактическую протяженность. Для этого необходимо увеличить расстояние до входа в тринадцатый сегмент (27,089 м) в 1,135 раза и получить величину, составляющую 30,75 м.

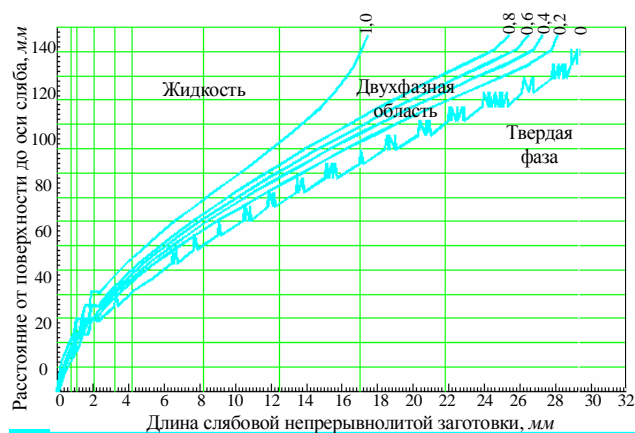


Рис. 2. Внутреннее строение слябовой непрерывнолитой заготовки толщиной 293,8 мм (опыт А): цифры у линий – относительная доля жидкой фазы

По данной методике была определена фактическая протяженность лунки жидкого металла во всех проведенных опытах. Результаты представлены в табл. 3.

Анализ полученных данных показывает, что во всех четырех опытах фактическая протяженность лунки жидкого металла оказалась больше, чем ее расчетное значение, полученное динамической системой вторичного охлаждения заготовки. Наибольшее различие наблюдалось при отливке слябов толщиной 293,8 мм – на 1,46–1,50 м, а при получении слябов толщиной 250 мм – на 0,70–0,71 м. Данные отклонения следует признать существенными, особенно в опытах с отливкой самых толстых слябов, с учетом того, что длина каждого сегмента ЗВО МНЛЗ составляет 2,13 м. Это может привести к ошибкам динамической системы при определении номеров сегментов, в которых рекомендуется осуществлять мягкое обжатию непрерывнолитой заготовки, и снижению его эффективности.

Таблица 3

Данные о протяженности лунки жидкого металла в слябовой непрерывнолитой заготовке

Номер опыта	Протяженность лунки жидкого металла, м		Разность между фактической и расчетной величинами, м
	расчетная	фактическая	
A	29,29	30,75	1,46
B	29,93	31,43	1,50
C	28,15	28,86	0,71
D	27,86	28,56	0,70

Для устранения выявленных различий между фактическими и расчетными значениями длины лунки жидкого металла внутри сляба необходимо внесение корректирующих поправок в модель динамической системы управления вторичным охлаждением заготовки.

Список литературы

1. Мошкунов В.В., Столяров А.М. Использование мягкого обжатию непрерывнолитого сляба на криволинейной МНЛЗ с вертикальным участком // Теория и технология металлургического производства : межрегион. сб. науч. тр. Вып. 10. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. С. 57–62.
2. Мошкунов В.В., Столяров А.М. Освоение технологии мягкого обжатию непрерывнолитых слябов в ККЦ ОАО «ММК» // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 69-й межрегион. науч.-технич. конференции. Магнитогорск, 2011. Т.1. С. 131–133.
3. Еланский Г.Н. Разливка и кристаллизация стали. Москва : МГВМИ, 2010. С. 128.

Bibliography

1. Moshkunov V.V., Stoliarov A.M. Soft reduction applying of continuous cast slab by curved continuous cast machine with vertical section // Theory and technology of metallurgical production: Interregional collection of scientific works. №10. Magnitogorsk: CEI HVT «MSTU», 2010. P. 57–62.
2. Moshkunov V.V., Stoliarov A.M. Developing of continuous cast slab soft reduction technology in oxygen-converter shop OJSC "Magnitogorsk iron and steel works" // Urgent questions of current science, technology and education: 69th Interregional scientific conference. Magnitogorsk, 2011. B.1. P. 131–133.
3. Elanskiy G.N. Casting and crystallization of steel. M.: MSNMU, 2010. P. 128.

УДК 621.74

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

АНАЛИЗ ПРИЧИН БРАКА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТАЛЬНЫХ КОРПУСНЫХ ОТЛИВОК ПОСРЕДСТВОМ СКМ ЛП LVM FLOW

В работе проводился анализ причин брака при изготовлении стальных отливок методом ЛВМ по диаграмме причинно-следственной связи и СКМ ЛП LVM Flow.

Ключевые слова: корпусная отливка, литейные дефекты.

We analyzed the reasons for failure in the manufacturing of steel casting by LPM on the diagram of a causal connection and system simulation of casting processes LVM Flow.

Key words: casting «body», casting defects.

Объект исследования – отливка «корпус», изготавливаемая в филиале ФГУП и ГКНПЦ имени Хруничева Воронежский механический завод (ВМЗ), материал изготовления – коррозионностойкая сталь аустенитного класса 10X18Н11БЛ ГОСТ 977-88, масса 16,6 кг, габаритные размеры отливки составляют

150×170×240 мм. 3D-модель приведена на рис. 1. Данная отливка предназначена для использования в оборудовании пищевой промышленности. К ней предъявляются требования по герметичности и коррозионной стойкости. При ее изготовлении неизбежно возникает брак.



Рис. 1. 3D-модель отливки

Анализ причин брака проводился по разработанной нами диаграмме, устанавливающей причинно-следственную связь факторов технологического процесса отливки и параметра качества «образование закрытой усадочной раковины» для метода ЛВМ (рис. 2).



Рис. 2. Разработанная диаграмма для ЛВМ

Определение факторов, влияющих на образование усадочной раковины, проведено с использованием источника [2]. Из них исследованию (путем моделирования) подлежали: подвод металла к отливке, свойства и температурный режим формы. Влияние такого фактора, как «заполняемость металлом» формы проведено частично (исследовано влияние температуры оболочки). За базовый вариант ЛПС принят шестой тип при горизонтальном положении отливки при заливке (рис. 3).



Рис. 3. 3D-модель отливки с ЛПС (базовый вариант)

Рассмотрены следующие варианты ЛПС, 3D-модели которых представлены на рис. 4.

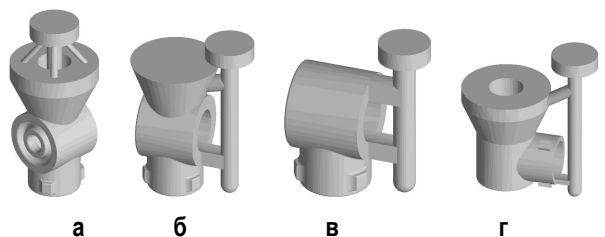


Рис.4. 3D-модели предложенных вариантов ЛПС

Для проведения расчетов в СКМ ЛП LVM Flow в соответствии с рассчитанными размерами ЛПС построены 3D-модели различных конструкций отливок с ЛПС, конвертированные в необходимый формат LVM Flow. При построении 3D-моделей использовалась программа 3D моделирования SolidWorks 2007. При моделировании процессов затвердевания отливки задавались следующие начальные условия: температура заливки – 1630°C, в качестве материала оболочки использовался электрокорунд и плавный кварц с начальной температурой 900°C, количество слоев оболочки – тринадцать, формовка – без опорного наполнителя, расчет велся при размере ячейки 3,00 мм, граничные условия – излучение в среду с температурой 20°C кроме нижней плоскости формы, граничащей с материалом пола в цехе. Результаты моделирования в соответствии с действующей на ВМЗ технологией представлены на рис. 5.

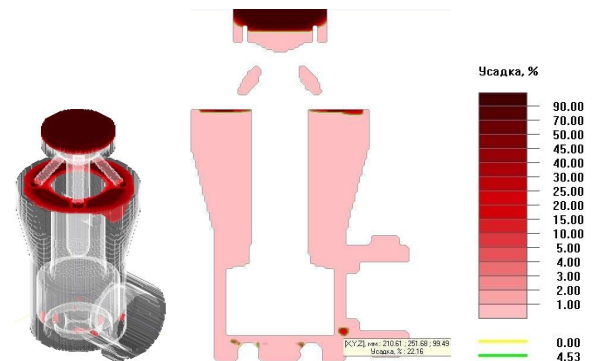


Рис. 5. Усадка при базовом варианте ЛПС

Анализ влияния способа подвода металла в форму на качество отливки показал: 1) вариант ЛПС для отливки «корпус», применяемый в ФГУП «ВМЗ», не позволяет получить отливку бездефектной; 2) применение всех предложенных нами вариантов ЛПС также приводит к образованию в отливке усадочных дефектов и крупных областей микропористости. Анализ влияния свойств формы (опорного наполнителя и количества слоев огнеупорной оболочки) дал следующие результаты: 1) применение в форме шамотного наполнителя приводит к увеличению усадки по сравнению с вариантом, когда опорный наполнитель отсутствует в форме; 2) увеличение количества слоев оболочки дает практически идентичные результаты по сравнению с базовым проектом. Принудительное охлаждение формы сжатым воздухом перед заливкой, т.е. создание градиента температур по высоте, как один из вариантов, позволяющих оценить влияние температурного состояния керамической оболочки на качество литья, показал (рис. 6), что использование принудительного охлаждения формы перед заливкой приводит к значительному понижению качества отливки «корпус». Поэтому, по-видимому, основное влияние на качество отливки оказывает непосредственно температура прокалики оболочек.

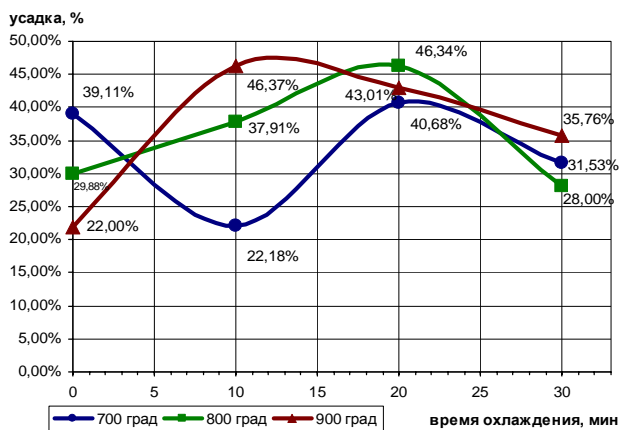


Рис. 6. Усадка при различных температурных режимах формы

На рис. 7 представлены результаты моделирования при различных температурах прокалики.

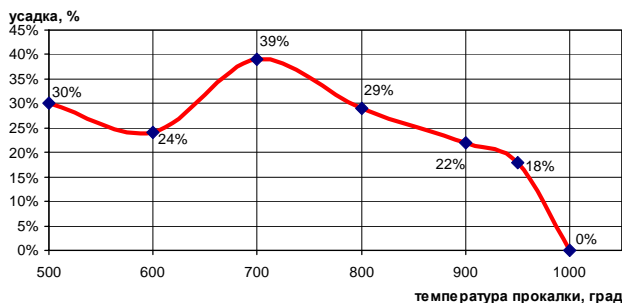


Рис. 7. Усадка при различных температурах прокалики

Для выявления причин, по которым при температуре формы 1000°C наблюдается полное отсутствие усадочных дефектов в отливке, при помощи СКМ ЛП LVM Flow проведено сравнение температурно-временных полей при базовом варианте технологии и при повышенной до 1000°C температуре формы (рис. 8).

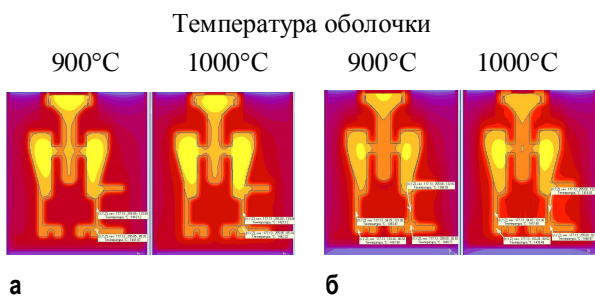


Рис. 8. Сравнение температурно-временных полей при температуре оболочки 900 и 1000°C (1 (а) и 1,5 (б) мин с начала затвердевания)

Сделано предположение, что причиной устранения дефектов в нижней части отливки при повышении температуры формы до 1000°C является более позднее затвердевание тонкой стенки вертикального фланца, питающей тепловые узлы в донной части, вследствие разогрева оболочки на данном участке при прокалике до более высокой температуры, чем в базовом варианте. На рис. 8 видно, что как при температуре оболочки

900°C, так и при 1000°C через 1 мин после начала затвердевания температура металла в нижней части отливки составляет порядка 1442°C. Однако при повышенной температуре оболочки температура металла в тонкой вертикальной стенке на 9°C выше, чем при базовом варианте. При этом в этот же момент времени в тонкой стенке затвердевает меньшее количество металла по сравнению с базовой технологией. Количество жидкой фазы во втором варианте на 21–25% больше. Спустя 1,5 мин после начала затвердевания при базовом варианте температура металла в тонких стенках понижается до 1390°C, т.е. ниже температуры ликвидуса. Металл в этих участках вертикального фланца полностью затвердевает, при этом в донной части находится значительное количество жидкой фазы (от 88 до 98%), т.е. образуется локальная область жидкого металла в тепловых узлах отливки, которая при дальнейшем затвердевании приводит к образованию дефектов. При температуре оболочки 1000°C наблюдается улучшенная картина с точки зрения отсутствия разрыва питания между прибыльной и донной частью.

Для подтверждения сделанного предположения при помощи СКМ ЛП LVM Flow построены температурно-временные зависимости (рис. 9). Для этого в тонких стенках вертикального фланца были установлены виртуальные термодатчики. Установлено, что в тонкой вертикальной стенке отливки при базовом варианте затвердевание заканчивается через 100 с, а при температуре формы 1000°C – через 150 с. То есть в течение более долгого времени нижняя часть отливки питается жидким металлом от верхней более массивной части и разрыв питания происходит на более поздней стадии затвердевания.

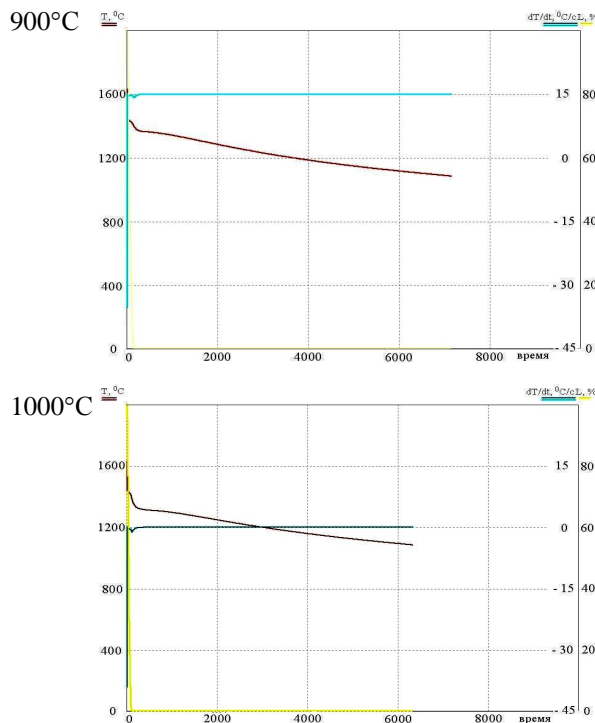


Рис. 9. Зависимость количества жидкой фазы, скорости охлаждения и температуры отливки от времени при T_{оболочки} = 900 и 1000°C

Таким образом, в результате работы предложены технологические рекомендации изготовления отливки «корпус» методом ЛВМ, при соблюдении которых, по нашему мнению, возможно отсутствие дефектов:

- 1) для подвода металла использовать шестой тип ЛПС;
- 2) температура заливки 1630°C;
- 3) количество слоев оболочки – 13;
- 4) первые два слоя выполняются из электрокорунда, а последующие одиннадцать из плавленного кварца;
- 5) температура прокали формы 1000°C;
- 6) формовка – без опорного наполнителя;
- 7) заливка происходит непосредственно после извлечения формы из прокалочной печи (без выдержки на воздухе и обдува сжатым воздухом).

Рекомендации по повышению температуры прокали с точки зрения энергосбережения ведут к увеличению затрат на энергоносители. Компенсировать

увеличение количества используемой энергии в технологическом цикле получения отливки можно за счет снижения времени изготовления отливки, поэтому хорошим направлением для дальнейшего изучения является возможность уменьшения количества слоев огнеупорной оболочки при температуре прокали 1000°C.

Список литературы

1. Гличев А.В. Современные методы управления качеством // Стандарты и качество. 1996. № 4. С. 4–9.
2. Воронин Ю.Ф. Атлас литейных дефектов. Черные сплавы / Ю.Ф. Воронин, В.А. Камаев. М., 2005

Bibliography

1. Glichev A.V. Modern methods of quality management / A. Glichev // Standards and Quality. 1996. № 4. S. P. 4–9.
2. Voronin Y.F. Atlas casting defects. Black alloys / Y.F. Voronin, V.A. Kamala. Moscow, 2005

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.735.32:539.389.2

Герасимов В.Я., Парышев Д.Н.

ПРОЯВЛЕНИЕ ЭФФЕКТА БАУШИНГЕРА ПРИ ОСАДКЕ СТАЛЬНЫХ ЦИЛИНДРОВ

Установлены закономерности изменения твердости и удельного электрического сопротивления при ступенчатой осадке цилиндрических заготовок из калиброванной стали 20. Получено экстремальное изменение контролируемых характеристик металла, вызванное изменением знака пластической деформации и проявлением эффекта Баушингера при их минимальных значениях со степенью деформации 0,07-0,10.

Ключевые слова: осадка, стальные цилиндры, эффект Баушингера, твердость, удельное электрическое сопротивление, степень деформации.

The study determines objective laws of solidity and electrical resistivity during consecutive settling of cylindrical work pieces made of standardized steel 20. The extreme change of controlled metal characteristics caused by change of mark of plastic deformation and development of Bauschinger effect was received at their minimal values at deformation degree 0,07-0,10.

Key words: settling, steel cylinders, Bauschinger effect, solidity, electrical resistivity, deformation degree.

Эффект Баушингера проявляется при изменении знака холодной пластической деформации и характеризуется частичным разупрочнением металла [1,2]. Необходимо отметить, что эффект Баушингера может локализоваться в ограниченном объеме металла, что может быть выявлено по изменению твердости. Изменяются также интегральные характеристики, например плотность, удельное электрическое сопротивление, магнитная проницаемость, электропроводность.

В настоящей работе установлены основные закономерности изменения свойств деформируемого и упрочняемого металла при ступенчатой осадке стальных цилиндров из холодногнущей стали. В экспериментах использовали калиброванные прутки из стали 20, которые были получены волочением в конической матрице с обжатием $\epsilon_{\Phi} = 2 \ln(d_0/d_1) = 0,31$ (d_0 и d_1 – диаметры исходного и протянутого прутка). Из них изготовили цилиндрические образцы с отношением высоты к диаметру $h_0/d = 2,0$, что позволило осуществлять деформационный процесс без потери устойчивости.

Степень деформации сжатия на каждой ступени определяется по формуле $\epsilon_{\Phi} = \ln(h_0/h)$ (h_0 и h – высота исходного и осажённого цилиндра) и изменяется ступенями, что позволяет оценивать поэтапное накопление разупрочняющего эффекта и структурные изменения в деформированном объеме металла.

На первом этапе исследования определяли средние значения твердости по Виккерсу $HV_{10/15}$ в меридиональной плоскости шлифов, изготовленных из осажённых цилиндров. При этом зоны контроля 1 и 2 соответствуют продольной оси деформированных образцов и их периферийным зонам.

Результаты обобщены и показаны на рис. 1 в виде графических зависимостей 1 и 2, соответствующих выделенным зонам контроля твердости на шлифах.

На втором этапе исследования определяли электрическое сопротивление R для образцов объемом V и находили удельное электросопротивление $\rho = R/V$ (Ом/см³).

При этом использовали двойной мост Томсона, с помощью которого можно определять сопротивление образца с точностью до 0,0001 Ом [2].

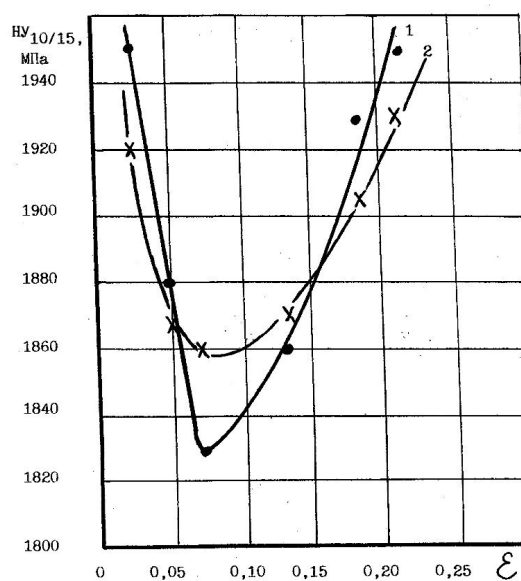


Рис. 1. Изменение твердости на продольной оси (кривая 1) и в периферийной зоне (кривая 2) при осадке цилиндров из калиброванной стали 20

Результаты показаны на рис. 2 в виде интегральных кривых 1 и 2, характеризующих изменение физических свойств деформируемого металла, получившего предварительное упрочнение при волочении прутков. Время естественного старения составило 1 и 14 сут, что позволило выявить изменения в структурном состоянии металла. Необходимо отметить, что при обжатии $\epsilon_{\Phi} = 0,31$ достигается интенсивное упрочнение металла в центральной зоне протянутых прутков – вблизи продольной оси вследствие деформаций растяжения [3].

В процессе пластического сжатия образцов изменяется знак деформации и это проявляется в частичном разупрочнении металла. Причиной являются дислокационные барьеры при протекании через образец постоянного тока.

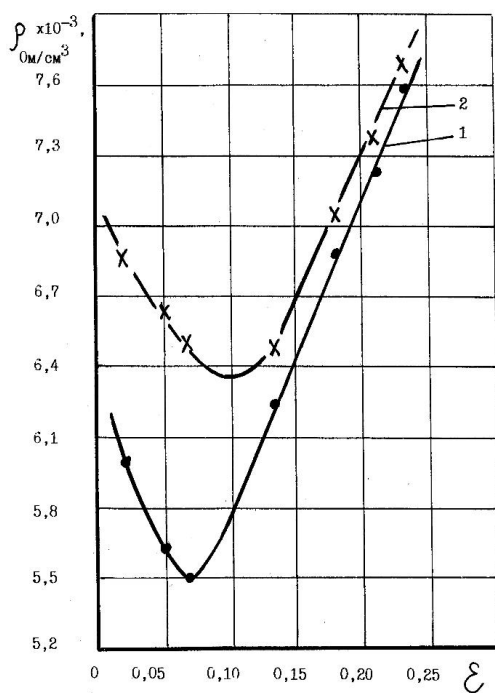


Рис. 2. Изменение удельного электрического сопротивления металла при осадке цилиндров из калиброванной стали 20:

1 – время старения 1 сут; 2 – время старения 14 сут

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие обобщения:

Экстремальное изменение твердости соответствует всему деформированному объему в осажённых стальных цилиндрах. Однако наиболее интенсивный спад твердости происходит в центральной зоне цилиндров, где имеет место наибольшее разупрочнение металла в связи с проявлением эффекта Баушингера.

Получено также экстремальное изменение электрического сопротивления единичных объемов металла с минимальными значениями в диапазоне экстремальной степени деформации сжатия 0,07–0,10, которые оказываются близкими к значениям по твердости (см. рис. 1).

При увеличении времени старения металла от 1 до 14 сут уменьшается удельное электрическое сопротивление деформированного металла, что объясняется переходом атомов углерода и азота из равномерного распределения в твердом растворе к скоплениям на дислокациях.

В целом можно отметить наибольшую эффективность, доступность и простоту метода удельного электрического сопротивления, когда не требуется трудоемкое изготовление шлифов и многократное измерение твердости. Благодаря высокой точности контроля появляется возможность достоверной оценки структурного состояния металла, его упрочнения и изменения разупрочняющего эффекта на технологических операциях осадки и высадки цилиндрических заготовок. Поэтому можно рекомендовать данный метод при проведении металлофизических исследований в процессах холодной деформационной обработки металла с изменением знака пластической деформации.

Список литературы

1. Герасимов В.Я. О циклах разупрочнения металла при осадке цилиндров // Изв.вузов. Черная металлургия. 1983. № 2. С.51–54.
2. Владимиров Ю.В., Герасимов В.Я. Технологические основы холодной высадки стержневых крепежных изделий. М.: Машиностроение, 1984. 120 с.
3. Герасимов В.Я. Исследование эффекта Баушингера при знакопеременной пластической деформации калиброванной стали // Изв. АН СССР. Металлы. 1980. № 4. С.171–173.

Bibliography

1. Gerasimov V.Y. On metal annealing cycles during setting of cylinders // Izv.vusov. Iron industry.1983. № 2. P.51–54.
2. Vladimirov Y.V., Gerasimov V.Y. Technological principles of cold heading of rod-shaped fastening ware. – M.: Machine building, 1984. 120 p.
3. Gerasimov V.Y. Study of Bauschinger effect during reversed plastic deformation of standardised steel // Izv. Academy of Sciences of USSR Metals. 1980. № 4. P.171–173.

УДК 621.777

Горохов Ю.В., Осипов В.В., Солопко И.В., Катрюк В.П.

РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЛЕЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ЗОНЫ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ПРЕССОВАНИИ МЕТАЛЛОВ МЕТОДОМ КОНФОРМ

Определен характер распределения температуры прессуемого металла в деформационной зоне при непрерывном прессовании способом Конформ путем решения методом вариационного исчисления уравнений стационарной теплопроводности, учитывающих тепловыделение и конвекцию тепла в процессе пластической деформации.

Ключевые слова: непрерывное прессование, совмещенные процессы, метод конформ, контейнер, инструмент, металл, температурное поле, теплопроводность, распределение температуры, деформационная зона

Character of distribution of temperature of the pressed is defined through in a deformation zone at continuous pressing of Conform by the way by the decision a method of calculus of variations of the equations of the stationary heat conductivity considering a thermal emission and a convection of heat in the course of plastic deformation.

Key words: continuous extrusion, concurrent processes, method conform, container, tool, metal, temperature field, heat conductivity, temperature distribution, deformation zone.

В последние годы в области теоретических и технологических исследований процессов производства фасонных профилей из цветных металлов все большее внимание уделяется разработке способов непрерывного прессования. Реализация схем непрерывного прессования осуществлена на различных установках, отличающихся конструкцией, технологическими возможностями и производительностью [1,2]. Наибольшее применения в прессовом производстве получили устройства, действие которых основано на использовании сил контактного трения между заготовкой и подвижной частью разъемного контейнера для выдавливания металла в отверстие матрицы, установленной в неподвижной части контейнера (рис. 1).

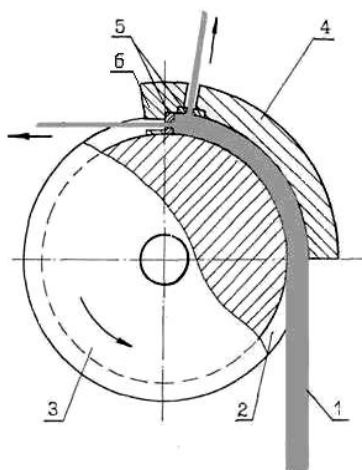


Рис. 1. Схема устройства для непрерывного прессования с горизонтальной осью вращения колеса:
1 – заготовка; 2 – ручей; 3 – вращающееся колесо;
4 – матрицедержатель; 5 – матрицы, 6 – упор

Этот способ непрерывного прессования, предложенный в 1971 году Д. Грином, получил название Конформ и осуществляется следующим образом: прутковая заготовка 1 подается в разъемный контейнер, образованный сопряжением ручья 2 приводного колеса 3 с неподвижным сегментом 4 и упором 6, перекрывающим сечение ручья. По мере вращения колеса 3 пруток 1 под действием сил трения по поверхности ручья 2 продвигается к матрице 5 и выдавливается в ее отверстие. При этом пруток разогревается до температуры, величина которой зависит от свойств прессуемого металла и технологических факторов процесса. Осуществление непрерывного прессования металла при оптимальном температурно-скоростном режиме обеспечивает высокие показатели качества пресс-изделий, стойкости прессового инструмента и оснастки, поэтому определение характера распределения температуры прессуемого металла в очаге деформации является актуальной задачей при проектировании технологического процесса прессования способом Конформ. В ре-

зультате изучения теплового эффекта при непрерывном прессовании предложен ряд теоретических и экспериментальных формул для определения температуры металла в деформационной зоне [3]. Дальнейшее развитие методов решения тепловой задачи при непрерывном прессовании металлов способом Конформ целесообразно проводить на основании анализа энергетического состояния очага пластической деформации с применением принципа вариационного исчисления для решения уравнений теплопроводности, учитывающих тепловыделение и конвекцию тепла в процессе пластической деформации.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho c \theta) = \lambda \nabla^2 \theta + \text{grad} \lambda \cdot \text{grad} \theta + TH - \vec{v} \text{grad}(\rho c \theta), \quad (1)$$

где c, ρ, λ – соответственно удельная теплоемкость, плотность и коэффициент теплопроводности среды; \vec{v} – скорость перемещения частиц среды; ∇^2 – оператор Лапласа; θ – температура; T – интенсивность касательных напряжений; H – интенсивность скоростей деформаций сдвига.

Если c, ρ, λ – постоянные, то уравнение (1) примет вид

$$\rho c \frac{\partial \theta}{\partial t} = \lambda \nabla^2 \theta + TH - \rho c \vec{v} \text{grad} \theta. \quad (2)$$

В случае стационарного изотермического процесса деформирования, когда температура от времени не зависит, уравнение (2) принимает вид

$$\lambda \nabla^2 \theta + TH - \rho c \vec{v} \text{grad} \theta = 0. \quad (3)$$

На рис. 2 представлена схема деформационной зоны при непрерывном прессовании Конформ, полученная на основании изучения особенностей пластического течения разноцветного пластилина [4] при его выдавливании в отверстие матрицы из разъемного контейнера, имеющего подвижную и неподвижную части.

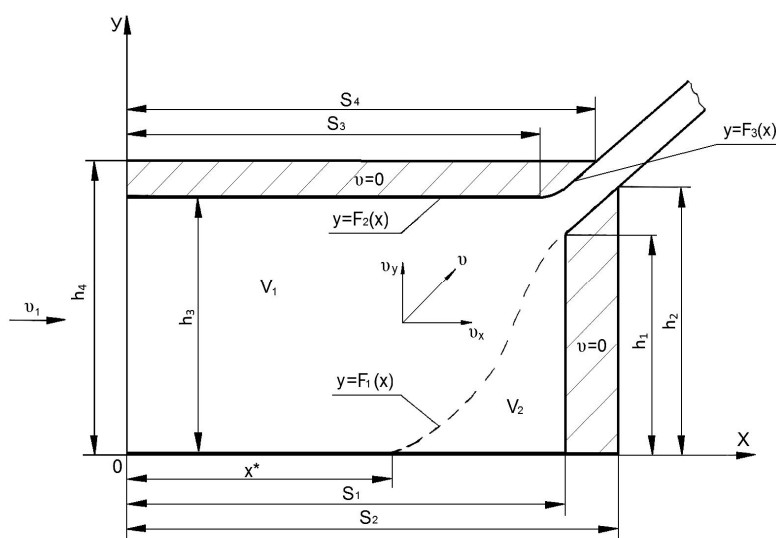


Рис. 2. Расчетная схема деформационной зоны процесса непрерывного прессования Конформ

Поверхность S разъемного контейнера с деформируемым материалом можно разделить на части S_1, S_2, S_3, S_4 , на которых необходимо задать граничные условия различного рода:

на S_1 задано условие первого рода

$$\theta = f(M, t), \quad (4)$$

где f – заданная функция координат точки M и времени t ;

на S_2 задано условие второго рода

$$-\lambda \frac{\partial \theta}{\partial n} = \varphi(M, t), \quad (5)$$

где n – направление внешней нормали; φ – заданная функция;

на S_3 задано условие третьего рода

$$-\lambda \frac{\partial \theta}{\partial n} = \alpha(\theta - \theta_{cp}), \quad (6)$$

где α – коэффициент теплообмена между телом и окружающей средой; θ_{cp} – температура окружающей среды;

на S_4 задано условие четвертого рода

$$\theta = \theta_{cp}, \quad \lambda \frac{\partial \theta}{\partial n} = \lambda_{cp} \frac{\partial \theta_{cp}}{\partial n} \quad (7)$$

где λ_{cp} – коэффициент теплопроводности среды.

На схеме непрерывного прессования, изображенной на рис. 2, можно выделить зону пластического течения и жесткопластическую зону, находящуюся перед упором. Граница между этими зонами описывается функцией $y = F_1(x)$. Исходя из этого в тепловой задаче необходимо рассматривать два уравнения стационарной теплопроводности:

$$\lambda \nabla^2 \theta_1 - \rho c \bar{v} \text{grad} \theta + TH = 0; \quad (8)$$

$$\lambda \nabla^2 \theta_2 = 0, \quad (9)$$

где $\theta_1(x, y)$ – температура металла в пластической зоне; $\theta_2(x, y)$ – температура металла в жесткопластической зоне.

Зададим граничные условия для температур θ_1, θ_2 :

1) на входе в пластическую зону при $x = 0$:

$$\theta_1(0, y) = \theta_0 \quad (10)$$

где θ_0 – заданная температура исходной заготовки;

2) на поверхности контакта металла с ручьем колеса при $y = 0$:

$$-\lambda \frac{\partial \theta_1}{\partial n} = \alpha(\theta_1 - \theta_K) - 0,5 \mu_K \tau_S |\nu - \nu_1|; \quad (11)$$

$$-\lambda \frac{\partial \theta_1}{\partial n} = \alpha(\theta_2 - \theta_K) - 0,5 \mu_K \tau_S \nu_1, \quad (12)$$

где α – коэффициент теплообмена; θ_K – температура колеса; μ_K – коэффициент трения по поверхности ручья колеса; ν_1 – скорость подачи заготовки в контейнер; ν – скорость течения металла в пластической зоне.

3) на поверхности контакта металла с неподвижным сегментом при $y = F_2(x)$:

$$-\lambda \frac{\partial \theta_1}{\partial n} = \alpha(\theta_1 - \theta_C) - 0,5 \mu_C \tau_S \nu, \quad (13)$$

где θ_C – температура сегмента; μ_C – коэффициент трения по поверхности сегмента;

4) на поверхности контакта металла с упором при $x = S_1$:

$$-\lambda \frac{\partial \theta_1}{\partial n} = \alpha(\theta_1 - \theta_y), \quad (14)$$

где θ_y – температура упора, $\theta_y = \theta_C$;

5) на поверхности, разделяющей пластическую и жесткопластическую зоны при $y = F_1(x)$:

$$\theta_1 = \theta_2, \quad (15)$$

$$-\lambda \frac{\partial \theta_1}{\partial n} + \lambda \frac{\partial \theta_2}{\partial n} = -\tau_S \nu; \quad (16)$$

б) на поверхности выхода металла из отверстия матрицы $y = F_3(x)$

$$-\lambda \frac{\partial \theta_1}{\partial n} = 0. \quad (17)$$

Функционал теплопроводности, соответствующей уравнениям (8), (9) и граничным условиям (10)–(17), имеет вид:

$$\begin{aligned} \Phi[\theta_1, \theta_2] = & \int_{V_1} \left[0,5 \lambda (\text{grad} \theta_1)^2 + \int_{\theta_0}^{\theta_1} (\rho c \bar{v} \text{grad} \theta - TH) d\theta \right] dV + \\ & + \int_{V_2} 0,5 \lambda (\text{grad} \theta_2)^2 dV + \\ & + \int \left[\alpha(0,5 \theta_1^2 - \theta_1 \theta_K) - \int_{\theta_0}^{\theta_1} \mu_K \tau_S |\nu - \nu_1| d\theta \right] dS - \\ & - \int_{S_3} \left[\int_{\theta_0}^{\theta_1} \tau_S \nu d\theta \right] dS + \int \left[\alpha(0,5 \theta_1^2 - \theta_1 \theta_C) - \int_{\theta_0}^{\theta_1} \mu_C \tau_S \nu d\theta \right] dS + \\ & + \int \left[\alpha(0,5 \theta_1^2 - \theta_1 \theta_C) - \int_{\theta_0}^{\theta_1} \mu_y \tau_S \bar{\nu} d\theta \right] dS + \\ & + \int \left[\alpha(0,5 \theta_1^2 - \theta_1 \theta_C) - \int_{\theta_0}^{\theta_1} \mu_C \tau_S \nu d\theta \right] dS + \\ & + \int_{S_5} \left[\alpha(0,5 \theta_1^2 - \theta_2 \theta_K) - \int_{\theta_0}^{\theta_1} \mu_y \tau_S \nu_1 d\theta \right] dS + \\ & + \int_{S_8} \alpha(0,5 \theta_2^2 - \theta_2 \theta_y) dS. \end{aligned} \quad (18)$$

В выражении (18) введены обозначения: μ_y – коэффициент трения по поверхности упора сег-

мента; V_1 – объем пластической зоны; V_2 – объем жесткопластической зоны;

S_2 – поверхность $0 \leq x \leq x^*$, $y=0$;

S_3 – поверхность $x^* \leq x \leq S_1$, $y=F_1(x)$;

S_4 – поверхность $S_1 \leq x \leq S_2$, $y=F_1(x)$

S_6 – поверхность $0 \leq x \leq S_4$, $y=F_2(x)$;

S_7 – поверхность $x^* \leq x \leq S_1$, $y=0$;

S_8 – поверхность $x=S_1$, $0 \leq y \leq h_1$.

Действительное температурное поле $\theta_1(x, y)$, $\theta_2(x, y)$ дает минимум функционалу (18). Минимизацию функционала (18) целесообразно провести методом Рунта. Зададим температуру в виде:

$$\theta_1 = \theta_0 + \sum_{k=1}^{N_A} A_k a_k(x, y); \quad (19)$$

$$\theta_2 = \theta_0 + \sum_{k=1}^{N_A} A_k a_k(x, y) + \sum_{k=1}^{N_B} B_k b_k(x, y)$$

где $a_k(x, y)$, $b_k(x, y)$ – функции координат; A_k , B_k – варьируемые постоянные.

После подстановки (19) в выражение (18) и взятия интегралов функционал становится функцией варьируемых параметров A_k , B_k и его минимум находится путем решения относительно A_k , B_k систем уравнений:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial A_k} = 0, \quad k = 1, \dots, N_A; \quad (20)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial B_k} = 0, \quad k = 1, \dots, N_B.$$

Уравнение (20) представляют собой систему линейных алгебраических уравнений вида:

$$\sum_{l=1}^{N_A} F_{kl}^{(AA)} A_l + \sum_{l=1}^{N_B} F_{kl}^{(AB)} B_l = F_k^{(A)}, \quad k = 1, \dots, N_A; \quad (21)$$

$$\sum_{l=1}^{N_A} F_{kl}^{(BA)} A_l + \sum_{l=1}^{N_B} F_{kl}^{(BB)} B_l = F_k^{(B)}, \quad k = 1, \dots, N_B,$$

где коэффициенты F представляют из себя суммы объемных и поверхностных интегралов от координатных функций a_k , b_k . Функции a_k , b_k должны выбираться так, чтобы точно выполнялись граничные условия (10) и (15).

Решение этих уравнений с применением программного обеспечения не представляет трудностей и может использоваться при проектировании технологических процессов непрерывного прессования металлов методом Конформ.

Список литературы

1. Современные способы непрерывного прессования труб, профилей и проволоки / Локшин М.З., Шамраев В.Н., Авдеев В.В., Богатов В.Ю. // Технология легких сплавов. 1992. №10. С. 60–65.
2. Горохов Ю.В., Солопко И.В., Суслов В.П. Расчет минимальной длины контейнера при непрерывном прессовании способом «Конформ» // Цветные металлы. 2010. №10. С. 81–85.
3. Определение температуры металла в очаге деформации при непрерывном прессовании методом Конформ / Горохов Ю.В., Сергеев В.М., Гилевич Ф.С. и др. // Технология легких сплавов. 1989. №12. С. 27–29.
4. Особенности пластического течения материала заготовки в деформационной зоне при непрерывном прессовании способом «Конформ» / Горохов Ю.В., Солопко И.В., Суслов В.П., Крылов М.А. // Цветные металлы. 2010. №12. С. 69–71.

Bibliography

1. Lokshin M. Z, Shamraev V. N, Avdeev V. V, Bogatov V. Ju. Modern ways of continuous pressing of pipes, profiles and a wire // Technology of easy alloys. 1992. №10. P.60–65.
2. Gorohov J.V., Solopko I.V., Suslov V.P. Raschet of the minimum length of the container at continuous pressing by way «Konform» // Nonferrous metals, 2010. №10. P.81–85.
3. Definition of temperature of metal in the deformation center at continuous pressing by a method of Konform / Gorohov J.V., Sergeev V. M, Gilevich F.S., etc. // Technology of easy alloys. 1989. №12. P.27–29.
4. Features of a plastic current of a material of preparation in a deformation zone at continuous pressing by way «Konform» / Gorohov J.V., Solopko I.V., Suslov V. P, Krylov M. A. // Nonferrous metals. 2010. №12. P.69–71.

УДК 621.77

Огарков Н.Н., Шеметова Е.С.

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ОБОЛОЧКИ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПРОВОЛОКИ

Выполнен теоретический анализ процесса волочения биметаллической проволоки. Получены теоретические зависимости по определению толщины оболочки, при которой ее материал теряет устойчивость, что, как следствие, приводит к вспучиванию при волочении. Представлены значения полууглов волоки, соответствующие потере устойчивости при деформировании оболочки в зависимости от степени деформации, условий трения оболочки на поверхностях контакта с волокой и сердечником и от показателя упрочнения материала оболочки.

Ключевые слова: биметаллическая проволока, плакирующая оболочка, устойчивость деформации, внеконтактная деформация, полуугол волоки.

Run the theoretical analysis of the process of dragging bimetallic wire. Based on the definition of received theoretical shell thickness when her material loses sustainability and as a result, it vsučivaniû with voloçenii. Shows the values poluuglov lines corresponding to loss of stability in strain of shell depending on the degree of deformation conditions friction shell on surfaces in contact with volokoj and cored, and from the mechanisms of material shell.

Key words: BI-metallic strip wire, plakiruûšaâ shell, sustainability deformation, vnekontaktnâ deformation, poluugol lines.

Производство биметаллической проволоки требует соблюдения технических условий по толщине и качеству покрытий. Известно, что для каждого материала, характеризующегося склонностью к упрочнению, требуются различные степени обжатия, углы наклона канала рабочей части волоки и определенные условия трения. Чаще всего металл, используемый для покрытий (медь, алюминий, цинк, латунь), мягче металла сердечника (например, стали), поэтому покрытие деформируется интенсивнее и может сопровождаться потерей устойчивости. В таких случаях наблюдается внеконтактная деформация, приводящая к вспучиванию лакирующей оболочки, запрессованию волоки и обрыву проволоки [1–4]. Для устранения этого явления обычно рекомендуют накладывать ограничения на величину обжатия, коэффициента трения и угла наклона конусной части волоки.

Существующие рекомендации по устранению вспучивания лакирующей оболочки являются неоднозначными, поскольку получены в различных условиях волочения и для материалов лакирующей оболочки, склонность к упрочнению которых различна, обобщающих экспериментальных и теоретических исследований до настоящего времени проводилось недостаточно. Имеются лишь единичные теоретические разработки, накладывающие ограничения на условия волочения биметаллической проволоки без вспучивания лакирующей оболочки и, как следствие, без образования внеконтактной деформации.

В настоящей работе предлагается расчетный метод определения допустимых соотношений между углом рабочей части волоки, условиями трения на контакте с волокой, а также размерами сечения биметаллической проволоки и склонностью материала оболочки к упрочнению для условия волочения без ее вспучивания. При решении задачи допускаем, что начало вспучивания оболочки соответствует потере устойчивости материала перед входом под действием продольных напряжений, действующих на оболочку. Предполагаем, что при достижении усилия, соответствующего потере устойчивости, лакирующая оболочка может свободно скользить по сердечнику проволоки. Эффект упрочнения материала оболочки в процессе деформации описываем зависимостью [5–7]:

$$\bar{\sigma} = A(B + \bar{\varepsilon})^n, \tag{1}$$

где $\bar{\sigma}$ – напряжение текучести материала оболочки; A, B – коэффициенты; $\bar{\varepsilon}$ – эффективная деформация; n – коэффициент упрочнения.

Поскольку средний радиус оболочки перед входом в рабочую часть волоки не изменяется, то $d\varepsilon_\theta = 0$; $\varepsilon_h = 0$.

Из условия постоянства объема имеем $d\varepsilon_l = d\varepsilon_h$, или для постоянного соотношения $\varepsilon_l = \varepsilon_h$.

Согласно уравнениям Леви – Мизеса [5]

$$\frac{d\varepsilon_l}{\sigma_l - \sigma_\theta} = \frac{d\varepsilon_l}{\sigma_\theta} \text{ или } \varepsilon_l = 2\varepsilon_\theta. \tag{2}$$

Из уравнения (2) следует $\bar{\sigma} = \frac{\sqrt{3}}{2}\sigma_l$ и

$$d\bar{\varepsilon} = \frac{2}{3}d\varepsilon_l = -\frac{2}{3}d\varepsilon_h.$$

Учитывая, что до входа в рабочую часть матрицы радиус сердечника является постоянным, продольное усилие, действующее на оболочку, определяется зависимостью:

$$P = \pi(R_n^2 - R_e^2)\sigma_l, \tag{3}$$

где R_n и R_e – начальные наружный и внутренний радиусы оболочки; σ_l – осевое напряжение оболочки.

Потери устойчивости материала оболочки возникают при условии, когда $dP = 0$, т. е.

$$\frac{d\sigma_l}{\sigma_l} = \frac{dh}{h} = -d\varepsilon_h = d\varepsilon_l. \tag{4}$$

В соответствии с условием (4) эффективная деформация и напряжение текучести материала оболочки определяются зависимостями:

$$\bar{\varepsilon} = \left(\frac{2}{\sqrt{3}}n - B\right) = \frac{2}{\sqrt{3}}\varepsilon_l; \quad \bar{\sigma} = A\left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right)^n = \frac{\sqrt{3}}{2\sigma_h} \tag{5}$$

Толщина оболочки в момент потери устойчивости, а соответственно в начале вспучивания, определяется как:

$$h = (R_n - R_e) \exp\left(\frac{\sqrt{3}}{2}B - n\right). \tag{6}$$

Значения h , соответствующие потере устойчивости материала оболочки, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения текущей толщины оболочки, соответствующие потере устойчивости для различных толщин оболочки и различных показателей упрочнения ее материала при $B=1$

$R_0 - R_l$	n				
	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
0,25	0,537	0,511	0,486	0,462	0,440
0,5	1,075	1,023	0,973	0,925	0,880
1,0	2,15	2,046	1,946	1,851	1,761
2,0	4,302	4,092	3,893	3,703	3,522

Анализ полученных значений показывает, что с увеличением коэффициента упрочнения материала оболочки текущее значение ее толщины, соответствующее потере устойчивости материала оболочки при входе в рабочую часть волоки, уменьшается.

Осевая нагрузка, действующая на оболочку, в момент потери устойчивости равна:

$$P_0 = F_0 \frac{2}{\sqrt{3}} A \left(\frac{2}{\sqrt{3}}n\right)^n \exp\left(\frac{\sqrt{3}}{2}B - n\right), \tag{7}$$

где F_0 – начальная площадь поперечного сечения оболочки.

С учетом размеров поперечного сечения оболочки выражение (7) преобразуется к виду:

$$P_0 = \pi (R_n^2 - R_g^2) \exp\left(\frac{\sqrt{3}}{2} B - n\right) \frac{2}{\sqrt{3}} A \left(\frac{2}{\sqrt{3}} n\right)^n \quad (8)$$

Поведение материала оболочки в очаге деформации и его взаимодействие с сердечником проволоки можно представить как деформацию трубы при волочении с движущейся оправкой (см. рисунок). Усилие волочения трубы P_1 с движущейся оправкой равно [8]:

$$P_1 = \pi \bar{\sigma} (r_n^2 - r_g^2) \left(1 + \frac{tg\beta + \mu_1}{tg\alpha - tg\beta}\right) \ln\left(\frac{R_n - R_g}{r_n - r_g}\right), \quad (9)$$

где μ_1 – коэффициент трения материала оболочки о рабочую поверхность волоки; β – полуугол наклона внутренней поверхности оболочки при деформации в волоке; r_n, r_g – соответственно наружный и внутренний радиусы оболочки после волочения.

В практике волочения труб обычно считают, что $tg\beta = \mu_2$, поэтому выражение для силы волочения упрощается:

$$P_1 = \pi \bar{\sigma} (r_n^2 - r_g^2) \left(1 + \frac{\mu_1 + \mu_2}{tg\alpha - \mu_2}\right) \ln\left(\frac{R_n - R_g}{r_n - r_g}\right), \quad (10)$$

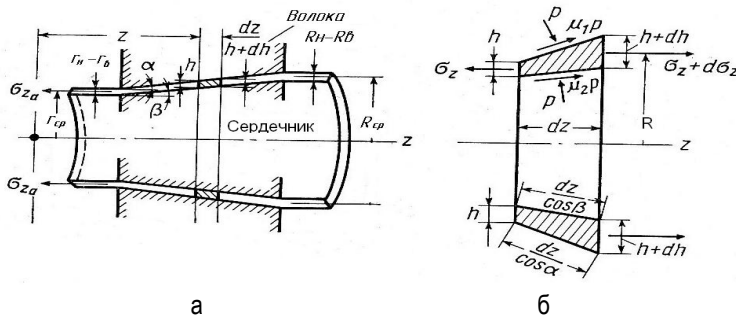
где μ_2 – коэффициент трения материала оболочки о сердечник проволоки.

Допуская, что усилие, приходящееся на оболочку, равно усилию волочения трубы из материала оболочки, приравняем усилия по зависимостям (8) и (9) и решим относительно полуугла волоки α :

$$\alpha = \arctg \frac{\mu_1 A \left(\frac{2n}{\sqrt{3}}\right)^n \left(\frac{R_n^2 - R_g^2}{r_n^2 - r_g^2}\right) \exp\left(\frac{2}{\sqrt{3}} B - n\right) + \mu_2 \bar{\sigma} \ln\left(\frac{R_n - R_g}{r_n - r_g}\right)}{A \left(\frac{2n}{\sqrt{3}}\right)^n \left(\frac{R_n^2 - R_g^2}{r_n^2 - r_g^2}\right) \exp\left(\frac{\sqrt{3}}{2} B - n\right) - \bar{\sigma} \ln\left(\frac{R_n - R_g}{r_n - r_g}\right)}$$

Или с учетом уравнения (5) получим

$$\alpha = \arctg \frac{\mu_1 \left(\frac{R_n^2 - R_g^2}{r_n^2 - r_g^2}\right)^n \exp\left(\frac{2}{\sqrt{3}} B - n\right) + \mu_2 \ln\left(\frac{R_n - R_g}{r_n - r_g}\right)}{\left(\frac{R_n^2 - R_g^2}{r_n^2 - r_g^2}\right)^n \exp\left(\frac{\sqrt{3}}{2} B - n\right) - \ln\left(\frac{R_n - R_g}{r_n - r_g}\right)} \quad (11)$$



а – схема волочения оболочки; б – схема сил, действующих на элемент оболочки

Значения полуугла волоки, которые соответствуют потери устойчивости материала оболочки при входе в рабочую часть волоки, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения полууглов волоки для различных толщин оболочки и различных показателей упрочнения ее материала

$R_0 - R_i$	$\mu = 0,05$						
	n						
$r_0 - r_i$	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
1,1	3,08	3,11	3,13	3,15	3,17	3,19	3,21
1,2	3,27	3,31	3,36	3,4	3,44	3,48	3,51
1,3	3,41	3,48	3,55	3,61	3,66	3,72	3,77
1,4	3,54	3,62	3,7	3,78	3,85	3,92	3,98
$R_0 - R_i$	$\mu = 0,1$						
	n						
$r_0 - r_i$	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
1,1	6,15	6,20	6,25	6,29	6,33	6,37	6,40
1,2	6,51	6,60	6,69	6,78	6,85	6,93	7,0
1,3	6,81	6,94	7,07	7,18	7,3	7,40	7,50
1,4	7,05	7,22	7,37	7,52	7,67	7,80	7,92
$R_0 - R_i$	$\mu = 0,15$						
	n						
$r_0 - r_i$	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
1,1	9,18	9,25	9,32	9,39	9,45	9,50	9,56
1,2	9,71	9,85	9,98	10,10	10,22	10,33	10,43
1,3	10,15	10,35	10,53	10,71	10,87	11,03	11,17
1,4	10,51	10,75	10,99	11,21	11,41	11,61	11,79
$R_0 - R_i$	$\mu = 0,2$						
	n						
$r_0 - r_i$	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
1,1	12,16	12,26	12,35	12,43	12,51	12,58	12,65
1,2	12,86	13,04	13,21	13,37	13,52	13,66	13,79
1,3	13,43	13,68	13,92	14,15	14,36	14,57	14,75
1,4	13,89	14,21	14,51	14,80	15,06	15,32	15,56

Значения полууглов волоки в табл. 2 рассчитаны для значений коэффициентов $B=1, \mu_1=\mu_2=\mu$.

Анализ полученных значений показывает, что с увеличением степени обжатия, коэффициентов трения и склонности материала оболочки к упрочнению значения углов волоки, соответствующие потери устойчивости материала оболочки возрастают и, как следствие, увеличивается тенденция к вспучиванию оболочки при входе в рабочую часть волоки при волочении биметаллической проволоки.

Приведенные в таблице данные получены при равных значениях коэффициентов трения материала оболочки о по-

верхность волоки и сердечника, однако из формулы (11) следует, что влияние коэффициентов трения μ_1 и μ_2 на изменение угла α различно. Более интенсивные влияния на изменение угла α оказывает коэффициент трения материала лакирующей оболочки о рабочую поверхность матрицы.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании валков и разработке технологических процессов волочения биметаллической проволоки, обеспечивающие устойчивый процесс деформации лакирующей оболочки.

Список литературы

1. Внеконтактная деформация при волочении биметаллической проволоки с мягким покрытием. Сообщение 1 / Ю.И. Коковихин, М.Г. Поляков, И.Ш. Туктамышев, А.А. Кальченко // Изв. вузов. Черная металлургия. 1976. №2. С. 80–83.
2. Внеконтактная деформация при волочении биметаллической проволоки с мягким покрытием. Сообщение 2 / Ю.И. Коковихин, М.Г. Поляков, И.Ш. Туктамышев, А.А. Кальченко // Изв. вузов. Черная металлургия. 1976. №2. С. 73–75.
3. Шумилин И.М. Условия устойчивого волочения биметаллической проволоки // Сталь. 1977. № 12. С. 1124–1125.
4. Огарков Н.Н., Налимова М.В. Определение условия обратного течения металла при волочении проволоки с покрытием // Моделирование и развитие технологических параметров обработки металлов давлением. 1988. С. 104–111.

5. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1975. 400 с.: ил.
6. Аркулис Г.Э., Дорогобид В.Г. Теория пластичности. М.: Металлургия, 1987. 352 с.
7. Реологические модели как основной элемент моделирования процессов обработки металлов давлением / Смирнов О.М., Тулупов С.А., Цепин М.А. и др. // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2008. Вып. №2. С. 45–52.
8. Томсен Э., Янг Ч., Кобаяши Ш. Механика пластических деформаций при обработке металлов. М.: Машиностроение, 1968. 504 с.

Bibliography

1. Vnekontaktnaá voločenii bimetalličeskoj wire deformation when soft coated. Message 1/Y.I. Kokovihin, M.G. Poles, I. Sh. Tuktamysev, A.A. Kal'chenko // News unstitutions. The steel industry. 1976. №2. P. 80–83.
2. Vnekontaktnaá voločenii bimetalličeskoj wire deformation when soft coated. Message 2/Y.I. Kokovihin, M.G. Poles, I.Sh. Tuktamysev, A.A. Kal'chenko // News unstitutions. The steel industry. 1976. №2. P. 73–75.
3. Sumilin I.M. Conditions sustainable dragging bimetalličeskoj wire//Steel. №12.1977. P. 1124–1125
4. Ogarkov N.N., Nalimova M.V. Definition conditions reverse metal voločenii wire coated // Modelling and the development of technological metal processing options. 1988. P.104–111
5. Malinin N.N. Applied the theory of plasticity and creep. 2nd ed., pererab. And dop. «машиностроение»М., «engineering»,1975, 400 p.s il.
6. Arkulis G.E., Dorogobid V.G. Sushko G.E. Plasticity theory. M., 352: Metallurgy, 1987, 3–52 p.
7. The rheological model as the primary element modelling processing metal / Smirnov O.M, Tulupov S.A., and Cepin M.A. // Journal of MGTU. 2008. Vol. №2. P. 45–52.
8. Thomsen E., Young Ch, Kobaāsi Sh. Najafzade mechanics plastic deformations when processing metals «engineering», 1968, 504 page.

УДК 621.771.06-589.4

Раскатов Е.Ю.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА В ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПИЛИГРИМОВОЙ ПРОКАТКЕ ТРУБ

Поставлена задача и представлена математическая модель процесса прокатки труб на пилигримовых станах. Определены силовые параметры процесса пилигримовой прокатки труб.

Ключевые слова: пилигримовая прокатка, напряжения, деформации, калибровка валков, моделирование, усилие прокатки, расчетная модель.

The problem is set and a mathematical model of the process of pilger rolling tubes is represented. The force parameters of pilger rolling tubes are identified.

Key words: pilger rolling, stress, working, roll grooving, modeling, roll force, computational model

Одним из основных способов производства бесшовных горячекатаных труб большого и среднего диаметров с разными толщинами стенок является прокатка на установках с пилигримовыми станами. Использование непрерывнолитых заготовок круглого сечения обеспечило значительные преимущества пилигримового способа производства бесшовных труб. В связи с освоением и расширением сортамента труб из легированных и труднодеформируемых марок сталей и сплавов и повышением требований к их качеству необходимо дальнейшее совершенствование технологического процесса производства труб на трубопрокатных установках с пилигримовыми станами для прокатки тонкостенных и толстостенных труб специального назначения и внедрение их в производство.

Основной проблемой, возникающей при пилигримовой прокатке непрерывнолитых заготовок, является обеспечение благоприятной схемы напряженно-деформированного состояния металла в очаге де-

формации, получение высоких механических свойств проката, однородной и мелкозернистой структуры металла, уменьшение поверхностных и внутренних дефектов. В связи с этим, важно определить напряженно-деформированное состояние непрерывнолитого металла в очаге деформации при пилигримовой прокатке, что позволит оценить течение и степень проработки литой структуры металла и возможность раскрытия поверхностных дефектов, то есть прогнозировать качество бесшовных труб. Это позволит также определить закономерности распределения тангенциальных и радиальных напряжений, возникающих в валках пилигримового стана от усилия прокатки.

Пилигримовая прокатка представляет собой периодический процесс, в котором сочетаются элементыковки в начальной стадии процесса и продольной прокатки, и предназначена для производства труб с заданной толщиной стенки. При пилигримовой прокатке цикл деформации гильзы в трубу осуществляет-

ся за один оборот валков с переменным радиусом калибра, причем направление вращения валков противоположно направлению подачи гильзы [1].

На рис. 1 показан валок пилигримового стана, где Θ_B , Θ_P , Θ_V и Θ_X – соответственно центральные углы бойка (гребня), полирующего участка, выпуска и холостого участка.

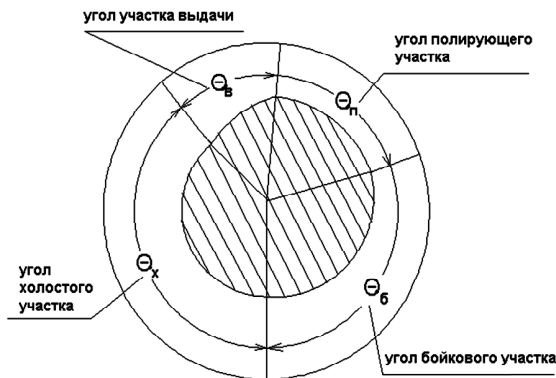


Рис. 1. Вид пилигримового валка

Моделирование процесса прокатки труб в пилигримовом стане выполнялось с использованием программного продукта ANSYS v10.0 [2]. Расчет выполнялся в объемной постановке. Упор сделан на определении напряженно-деформированного состояния и характер течения металла на первом участке, где бойковой частью валка осуществляется интенсивная деформация гильзы по диаметру и толщине, и полирующем участке с постоянным радиусом по дну калибра, на котором раскатывается объем металла, смещенного на первом участке деформации.

Материал трубы в очаге деформации испытывает упругопластические деформации, которые достигают конечных значений. Поскольку их уровень высок, то при описании модели материала трубы в очаге деформации учтена не только физическая, но и геометрическая нелинейность. Принятие в качестве модели для очага деформации упругопластического поведения, а не жесткопластического, позволяет учесть при моделировании историю нагружения. Кроме исследования очага деформации определялось напряженное состояние валков от действия усилия прокатки. Для валков принимаем, что материал, из которого они изготовлены, подвержен только упругим деформациям и напряжениям, подчиняющимся закону Гука.

При исследовании напряженно-деформированного состояния трубы при прокатке пренебрегли инерционными и массовыми силами, деформируемый металл трубы считаем несжимаемым. При записи уравнений состояния использован случай простого нагружения. Для материала трубы принята упругопластическая модель Прандтля-Рейса. Так как задача сложная, то приняты изотермические условия деформации, то есть разогрев деформируемого металла и валков не учитываются.

Сопrotивление деформации зависит от степени и скорости деформации, а также от температуры прокатываемого металла. Принимается,

что трение на всей поверхности контакта валков с трубой подчиняется закону сухого трения Кулона, причем коэффициент трения постоянен на всей контактной поверхности.

Рассматривался процесс пилигримовой прокатки труб из стали 14ХГС диаметром 325 мм из гильзы диаметром 500 мм, диаметр дорна равен 300 мм. Скорость вращения валков составляла 45 об/мин.

Моделирование процесса пилигримовой прокатки проводим для трех калибровок валков согласно таблице.

Величина подачи для каждой калибровки валков составляла 10, 20 и 30 мм. Температура прокатываемого металла гильзы принята постоянной и равной 1050°C.

Модуль упругости определен по зависимости (1), приведенной в работе [3]:

$$E = -4.566 \cdot 10^5 + 160 \cdot T + \frac{3.266 \cdot 10^8}{T}, \quad (1)$$

где E – модуль упругости материала, МПа; T – температура металла, °C.

N п/п	Центральные углы участков поперечного сечения валка, град.			
	Бойковый	Полирующий	Выпуск	Холостой
1	110	65	45	140
2	105	70	45	140
3	120	55	45	140

Одним из основных параметров при моделировании процесса пилигримовой прокатки труб является сопротивление пластической деформации, которое вычисляется по зависимости (2), приведенной в работе [4]:

$$\sigma_s = 288 \cdot U_i^{0.107} \cdot (\ln \varepsilon_i)^{1.45} \cdot e^{-0.00235 \cdot T}, \quad (2)$$

где σ_s – сопротивление пластической деформации, МПа; U_i – скорость деформации, 1/с; ε_i – степень деформации, %.

Зависимость сопротивления пластической деформации от степени деформации дана на рис. 2. Коэффициент трения между прокатываемым металлом и валками принят равным 0.34.

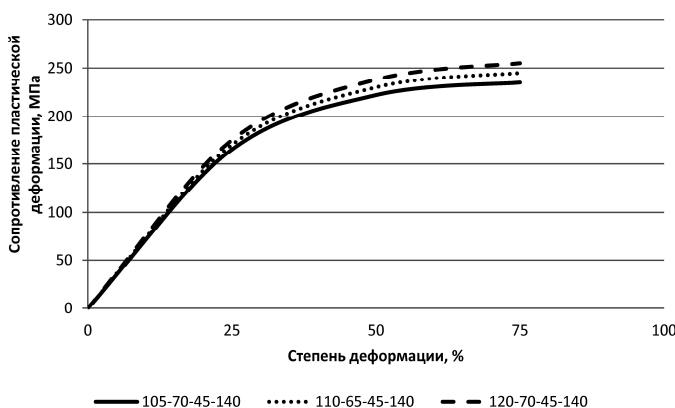


Рис. 2. Зависимость сопротивления пластической деформации при прокатке трубы в валках трёх калибров

На рис. 3 изображена расчетная модель прокатываемой трубы с калибром валка перед прокаткой.

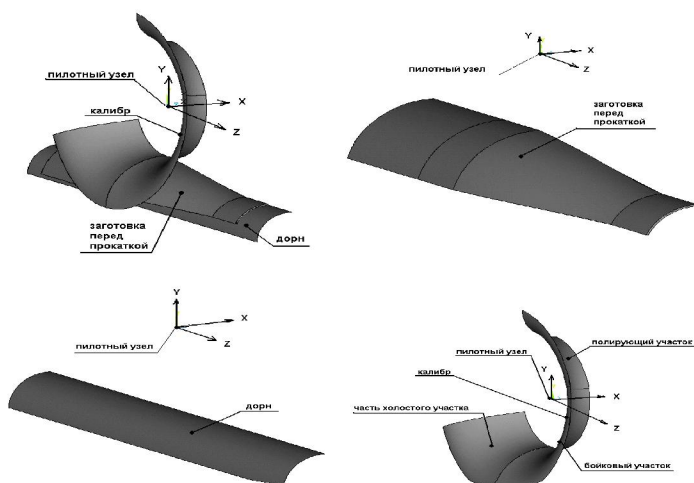


Рис. 3. Расчётная модель прокатываемой трубы в пилигримовых валках

В силу симметрии рассматривается четверть предельного сечения трубы с калибром валка. Учитывается деформация гильзы по трем направлениям на основе трехмерной объемной модели.

Конечно-элементная модель трубы и валков формировалась из трехмерных 20-узловых твердотельных элементов SOLID186, вид которых показан на рис. 4. На поверхностях контакта валков с гильзой размещены контактные элементы TARGE170 и CONTA174 [2]. Это элементы контакта типа «поверхность в поверхность», представляющие собой нелинейный анализ с возможностью учета больших деформаций, переменности контактного взаимодействия (смыкания-размыкания) и кулонова трения скольжения. Контакт представлен последовательным положением точек на одной поверхности относительно другой поверхности. Программа использует элементы контакта для отслеживания относительных положений контактируемых поверхностей. Для описания контакта и трения к узлам на контактирующих поверхностях прикладываются соответствующие силы [2].

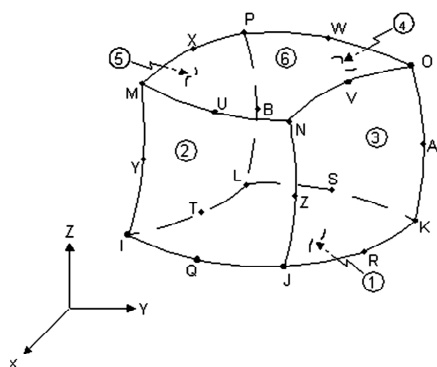


Рис. 4. 20-узловой конечный элемент, принятый для расчёта

В качестве кинематических граничных условий задавалось отсутствие нормальных перемещений по плоскостям симметрии гильзы и валков.

При пилигримовой прокатке труб передний конус валков (гребень) выполняет при деформации гильзы две функции: одна часть объема металла обжимается непосредственно бойком, а другая – смещается бойком в полирующий участок, где деформируется до размеров готовой трубы. Таким образом, при прокатке в каждый момент рабочий конус валков соприкасается с металлом не по всей поверхности очага деформации одновременно, а какой-то сравнительно небольшой частью (мгновенный очаг деформации).

Характер изменения усилия пилигримовой прокатки в зависимости от величины подачи показан на рис. 5. Из графика следует, что усилие пилигримовой прокатки существенно зависит от подачи гильзы в валки. Например, для калибровки валков 105-70-45-140 при увеличении подачи с 10 до 30 мм усилие пилигримовой прокатки возрастает от 10 до 14 МН. Причем наибольшая величина усилия имеет место в конце бойкового участка валка пилигримового стана, где происходит обжатие смещенного объема металла.

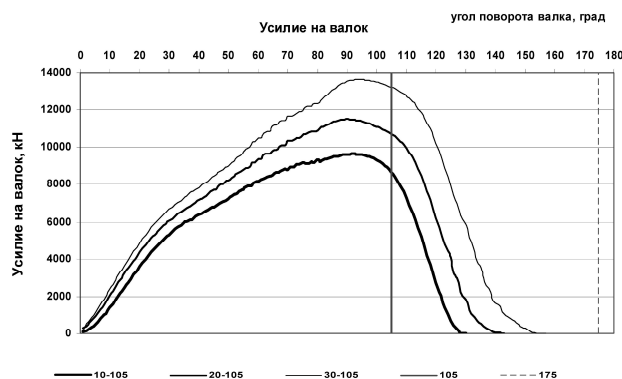


Рис. 5. Изменение усилий на валок

Заключение

Разработана математическая модель процесса прокатки стальных труб на пилигримовых станах. Определен уровень и характер изменения усилия прокатки в зависимости от величины подачи гильзы в валки пилигримового стана.

Список литературы

1. Данченко, В.Н. Технология трубного производства / В.Н. Данченко, А.П. Коликов, Б.А. Романцев, С.В. Самусев. М.: Интермет Инжиниринг, 2002. 640 с.
2. ANSYS. Structural Analysis Guide. URL: <http://www.cadferm.ru>.
3. Нисковских, В.М. Машины непрерывного литья слэбовых заготовок / В.М. Нисковских, С.Е. Карлинский, А.Д. Беренов. М.: Металлургия, 1991. 272 с.
4. Мазур, В.Л., Хижняк, Д.Д. Сопротивление деформации низколегированных сталей // Сталь. 1991. №8. С. 41–43.

Bibliography

1. Danchenko V. The technology of pipe production / Danchenko V., Kolikov A., Romancev B., Samusev S. M. : Intermet Engineering, 2002.
2. ANSYS. Structural Analysis Guide. URL: <http://www.cadferm.ru>
3. Niskovskih V. Continuous casting slab blanks / Niskovskih V., Karlinskij S., Berenov A. M.: Metallurgy, 1991.
4. Mazur V., Hижnjak D. Resistance to deformation of low alloy steels // Steel. 1991. №8. P. 41-43.

УДК 669 : 004.031.42

Федосеев С.А.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Рассмотрены методы оптимизации производственного планирования для метизно-металлургического завода на примере двухниточного сортового стана 250. Показана возможность гибкого реагирования на быстро меняющийся спрос за счет согласованной корректировки плана производства несколькими подразделениями метизно-металлургического завода.

Ключевые слова: метизно-металлургический завод, сортовой стан, оптимизация производственного планирования, гибкое реагирование на спрос.

Methods of optimization of industrial planning for hardware-metal works on an example the rolling mill 250 are considered. Possibility of flexible reaction to quickly changing demand at the expense of the coordinated updating of the plan of manufacture by several divisions hardware-metal works is presented.

Key words: metallurgical plant, rolling mill, optimization of industrial planning, satisfaction of demand

В условиях жесткой конкуренции на рынке сортового проката двумя ключевыми задачами для метизно-металлургического завода (далее ММЗ) являются снижение издержек производства, в частности за счет сокращения простоев сортопрокатного стана, а также максимально гибкое реагирование на быстро меняющийся спрос [1].

В качестве примера рассмотрим процесс планирования производства для двухниточного сортового стана 250 (далее Стан-250), предназначенного для прокатки сортовых и фасонных профилей из углеродистых и низколегированных марок сталей. На Стане-250 производится периодический профиль горячекатаного арматурного проката класса А400, термоупрочненного арматурного проката класса А400С и А500С и высокопрочного арматурного проката класса Ат800 диаметром от 6 до 40 мм. Для получения сортовых и фасонных профилей на Стане-250 служит катаная или непрерывно-литая квадратная заготовка сечением 125x125 мм, длиной от 8,0 до 11,7 м.

План производства для Стана-250 формируется помесечно, т.е. является краткосрочным. Тому есть несколько причин.

Во-первых, спрос на арматуру меняется очень быстро. Потребители продукции ММЗ, как правило, при необходимости имеют возможность существенно корректировать свои ранее согласованные с ММЗ заказы по номенклатуре и объемам.

Во-вторых, длительность производственных циклов для выпуска требуемых партий арматуры для Стана-250 обычно составляет от одного до нескольких дней, для чего достаточен месячный горизонт планирования.

В-третьих, Стан-250 имеет фиксированную производительность, поэтому нет необходимости в долгосрочном, например на год, планировании его загрузки.

В-четвертых, производство Стана-250 относится к поточному типу. Характерной особенностью такого производства является отсутствие необходимости в планировании производства комплектующих, при этом план выпуска готовой продукции напрямую связан с оперативным планом производства.

Процесс планирования производства для Стана-250

можно условно разделить на два этапа:

1. Ежемесячно отдел сбыта ММЗ формирует потребность в продукции на очередной месяц. Отдел производства на основании этой потребности формирует производственное задание на очередной месяц для электросталеплавильного производства, производящего заготовку, и для прокатного производства. Прокатный цех на основании производственного задания формирует план производства для Стана-250 на очередной месяц с разбивкой по дням. При этом прокатный цех учитывает график планово-предупредительных ремонтов Стана-250, который формирует отдел ремонтов.

2. Несколько раз в месяц, иногда по несколько раз в неделю, в соответствии с быстро изменяющимся спросом отдел сбыта ММЗ формирует заявки на корректировку плана производства для Стана-250, которые согласует с отделом производства. На основании этих заявок прокатный цех своевременно осуществляет изменение оперативного плана производства для Стана-250, при этом уточняя потребность в заготовке для электросталеплавильного производства.

Реализация функции формирования плана производства для Стана-250 требует решения следующей задачи оптимизации. Необходимо минимизировать время простоя Стан-250, связанного с перевалкой при смене диаметра профиля и класса арматурной стали, путем подбора соответствующей последовательности запуска партий арматуры в производство.

Математическая постановка данной задачи может быть записана в следующем виде: найти вектор управления, обеспечивающий экстремальное значение целевой функции при ограничениях типа равенств и неравенств.

В рассматриваемом случае:

- целевая функция $\sum_{i=1}^p t_i \rightarrow \min$, где p – количество перевалок Стана-250, t_i – время перевалки;
- параметр управления – кортеж партий арматуры $L \in K^L$, где K^L – множество всех кортежей длиной $|L|$;

- ограничения $\sum_{j=1}^{|L|} q_j / w_j \leq T$, где q_j – объем j -й

партии арматуры, w_j – производительность стана при прокатке j -й партии арматуры; T – эффективное время работы стана в плановом периоде; D_{ij} – матрица времен перевалки между i -й и j -й партиями арматуры при смене диаметра профиля; S_{ij} – матрица времен перевалки между i -й и j -й партиями арматуры при смене класса арматурной стали.

Данная задача является NP-трудной [2], т.е. в общем случае, а именно при значительном количестве номенклатурных единиц в плане производства, не может быть решена полным перебором за конечное время даже с помощью современной вычислительной техники. Однако для ее решения в рассматриваемой функции планирования алгоритм полного перебора был реализован и показал свою эффективность при количестве номенклатурных единиц арматуры в плане производства для Стана-250 не более семи.

Для сокращения времени расчета были исследованы две эвристики, основанные на использовании норм времени на переналадку (перевалку) оборудования Стана-250 при смене диаметра профиля и класса арматурной стали.

В первой эвристике на каждом шаге алгоритма выбирается та арматура, после которой суммарное время перехода на другие виды арматуры является минимальным. Данная эвристика исследовалась на эффективность путем сравнения решений, получаемых с ее помощью, и решений, получаемых полным перебором. К сожалению, данная эвристика оказалась неэффективной, т.к. в большинстве численных экспериментов полученное с ее помощью время простоя Стана-250 было на 40-60% больше того времени простоя, которое позволял получить полный перебор.

В качестве второй эвристики был использован так называемый жадный алгоритм [3], заключающийся в принятии локально оптимальных решений на каждом этапе, исходя из предположения о том, что конечное решение также окажется оптимальным. В рассматриваемой задаче жадный алгоритм на каждом шаге выбирает в качестве следующей ту арматуру, для которой время простоя при переходе от текущей арматуры минимально. Данный алгоритм показал высокую эффективность при сравнении с результатами, полученными полным перебором. Так, при проведении 50 численных экспериментов с произвольно выбираемыми семью видами арматуры:

- в 18 экспериментах было получено минимальное время простоя Стана-250, совпадающее с временем простоя, полученным полным перебором;
- в 30 экспериментах было получено решение с временем простоя, которое не более чем на 10% больше минимального, полученного полным перебором;
- в 2 экспериментах было получено решение с временем простоя, которое не более чем на 12% больше минимального, полученного полным пе-

ребором. Наихудшее решение оказалось большим минимального на 11,53%.

Таким образом, с учетом того, что жадный алгоритм позволяет формировать план производства Стана-250 для реального набора арматуры на персональном компьютере за время, не превышающее 4 мин, именно он и был выбран в качестве основного для решения задачи минимизации времени простоя Стана-250. Дополнительным аргументом в пользу жадного алгоритма послужила легкость, с которой на ММЗ решается задача выбора первой арматуры в последовательности для плана производства. В соответствии с техническими условиями, как правило, это арматура с номинальным диаметром 12 мм.

Дополнительно в функции формирования плана производства для Стана-250 реализована возможность учета реально существующих на ММЗ технологических условий перехода между диаметрами профиля и классами арматурной стали. Примером такого условия может быть принятая на предприятии последовательность перевалки. В этом случае приоритетными при составлении плана производства для Стана-250 будут именно ограничения, связанные с технологическими условиями, даже если они противоречат логике используемого, например жадного, алгоритма.

Также в функции формирования плана производства для Стана-250 реализована возможность не использовать имеющиеся графики планово-предупредительных ремонтов, а генерировать новые графики, чтобы не прерывать ремонтными мероприятиями производство соответствующих партий арматуры, т.к. такой разрыв требует повторной настройки стана на «докатку» незаконченной партии арматуры.

Пример оперативного плана производства для Стана-250 приведен на **рисунке**.

Своевременная корректировка оперативного плана производства для Стана-250 осуществляется через механизм электронных заявок на корректировку, формируемых отделом сбыта ММЗ. Текущее состояние заявки на корректировку определяется ее статусом:

- сформирована – заявка сформирована заинтересованным сотрудником отдела сбыта и находится на рассмотрении;
- согласована – заявка прошла проверку и будет использована для корректировки оперативного плана производства;
- отклонена – заявка не прошла проверку и не будет использована для корректировки оперативного плана производства.

Сформированная заявка проходит проверку на соответствие имеющимся на ММЗ технологическим и ресурсным ограничениям путем формирования прогнозного плана производства. Сформированный прогнозный план анализируется на соответствие имеющимся объективным ограничениям, в том числе на возможность производства требуемого количества заготовки, и субъективным критериям эффективности специалистов отдела производства. В результате данные специалисты либо согласуют, либо отклоняют заявку на корректировку

ОПЕРАТИВНЫЙ ПЛАН ПРОИЗВОДСТВА СТАН-250 НА АПРЕЛЬ 2011 г.

№	Дата	час.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
п/п	день	пр-ть	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	пн	вт	ср	чт
ППР		тн/ч														
Профиль		тн/ч														
1	АРМАТУРА А500С 12 СТЗПС М/Д 11700	144	3081	3081	3081	1807										
2	АРМАТУРА А 400 14 35Г2С М/Д 11700	153				1072	928									
3	АРМАТУРА А 400 14 25Г2С М/Д 11700	153					300									
4	АРМАТУРА А500С 14 СТЗПС М/Д 11700	145					1866	2320	814							
5	АРМАТУРА АТ800 14 25Г2С М/Д 11700	94.2							1000							
6	АРМАТУРА А 400 25 25Г2С М/Д 11700	175							400							
7	АРМАТУРА А 400 25 35ГС М/Д 11700	175								1318						
8	АРМАТУРА А500С 25 СТЗПС М/Д 11700	166								2191	3309					
9	АРМАТУРА А 400 32 25Г2С М/Д 11700	170									106	194				
10	АРМАТУРА А 400 32 35ГС М/Д 11700	170										1000				
11	АРМАТУРА А500С 32 СТЗПС М/Д 11700	165										2289	211			
12	АРМАТУРА А500С 36 СТЗПС М/Д 11700	169											1200			
13	АРМАТУРА А 400 18 25Г2С М/Д 11700	165											300			
14	АРМАТУРА А 400 18 35ГС М/Д 11700	165											1000			
15	АРМАТУРА А500С 18 СТЗПС М/Д 11700	160											340	3423	137	
16	АРМАТУРА А 400 20 25Г2С М/Д 11700	170													500	
17	АРМАТУРА А 400 20 35ГС М/Д 11700	170													1677	523
18	АРМАТУРА А500С 20 СТЗПС М/Д 11700	168														2994
19	АРМАТУРА А500С 22 СТЗПС М/Д 11700	168														
20	АРМАТУРА А 400 22 25Г2С М/Д 11700	170														
21	АРМАТУРА А 400 22 35ГС М/Д 11700	170														
22	АРМАТУРА А 400 28 25Г2С М/Д 11700	150														
23	АРМАТУРА А 400 28 35ГС М/Д 11700	150														
24	АРМАТУРА А500С 28 СТЗПС М/Д 11700	167														
план произ-ва			3081	3081	3081	2879	3094	2320	2396	3509	3415	3483	3051	3423	2314	3517
номинальное время			24	24	24	24	24	16	24	24	24	24	24	24	16	24
факт. время			21.396	21.396	21.396	19.556	20.895	16	19.556	20.728	20.558	20.895	18.387	21.396	13.662	20.895
Смена класса							0.501		0.501	0.668	0.501	0.501				0.501
Смена сорта						3.34			2.839		2.338	4.008		2.338		
Постоянные простои			1.104	1.104	1.104	1.104	1.104	1.104	1.104	1.104	1.104	1.104	1.104	1.104	1.104	1.104
Профилактика			1.5	1.5	1.5		1.5			1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

Пример оперативного плана производства для Стана-250

Согласованные заявки принимаются к исполнению прокатным цехом. При этом на их основе осуществляется корректировка оперативного плана производства с помощью специальной функции, которая позволяет сформировать план производства на месяц начиная с любой даты этого месяца с учетом:

- партии арматуры, производимой последней в предыдущий день;
- фактического выпуска арматуры, который может отличаться от планового;
- ручных корректировок плана, которые при необходимости может произвести ответственный сотрудник отдела производства.

Таким образом, реализованная функция корректировки плана производства в сочетании с использованием прогнозных планов позволяет специалистам из заинтересованных подразделений ММЗ моделировать возможные изменения в оперативном плане производства и прогнозировать их последствия.

Следует отметить, что корректировка плана производства может осуществляться также на основании изменений графика планово-предупредительных ремонтов для Стана-250.

Перечисленные функции реализованы в виде комплекса программ, использующих справочную информацию о номенклатуре готовой продукции и заготовки, технологических операциях, нормах времени на перевалку, а также данные из плана технического обслуживания и ремонта Стана-250. Применение данного комплекса программ на ММЗ позволило получить следующие результаты:

- удалось снизить планируемые простои на ремонты и обслуживание Стана-250 на 0,3%, что с учетом объемов производства Стана-250 позволяет получить значительный экономический эффект;
- созданы инструменты для адаптации ММЗ к изменению спроса на готовую продукцию путем про-

гнозирования последствий этих изменений и согласованного перепланирования производства Стана-250 всеми заинтересованными подразделениями.

Таким образом, использование математического моделирования и информационных технологий на ММЗ позволило создать дополнительные возможности для снижения издержек производства за счет сокращения простоев стана и максимально гибкого реагирования на быстро меняющийся спрос за счет своевременного перепланирования работы стана.

Выводы

Приведен пример оптимизации плана производства для двухниточного сортового Стана-250 с целью минимизации времени простоя стана, связанного с перевалкой при смене диаметра профиля и класса арматурной стали, путем подбора соответствующей последовательности запуска партий арматуры в производство.

Автоматизация корректировки плана производства для Стана-250 позволила повысить согласованность действий различных подразделений предприятия и тем самым увеличить уровень сервиса для потребителей ММЗ.

Список литературы

1. Федосеев С.А. Управление производством как механизм повышения качества продукции // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2010. №2 (30). С. 56–60.
2. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи: пер. с англ. М.: Мир, 1982. 416 с.
3. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. Алгоритмы: построение и анализ. М.: МЦНМО, 2001. 960 с.

Bibliography

1. Fedoseev S.A. Production management as a mechanism of product quality improvement // Vestnik MGTU. 2010. №2 (30). P. 56–60.
2. Michael R. Garey, David S. Johnson. Computers and Intractability. W.H. Freeman and Company, San Francisco, 1979, 416 p.
3. Cormen, Thomas H.; Leiserson, Charles E.; Rivest, Ronald L. Introduction to Algorithms. MIT Press, Cambridge, Massachusetts London, England, 2001, 984 p.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

УДК 544.022.22 : 669.15'234'788

Мирзаев Д.А., Окишев К.Ю., Мирзоев А.А., Шабуров А.Д.

РЕЛАКСАЦИЯ БЛИЖНЕГО ПОРЯДКА АТОМОВ ВНЕДРЕНИЯ В СПЛАВАХ Fe–Pd–H ПРИ ТЕРМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Рассмотрена кинетика ближнего упорядочения атомов водорода в тройных сплавах железа, содержащих сильно взаимодействующую с водородом примесь замещения (Pd) при резком переохлаждении образцов. Проведены расчёты кинетики изменения параметра порядка и растворимости водорода для случая изотермической выдержки и непрерывного охлаждения.

Ключевые слова: сплавы железа, водород, сплавы Fe–Pd–H, ближний порядок, кинетика.

The paper considers kinetics of short-range ordering of hydrogen atoms in ternary iron-base alloys containing a substitutional impurity strongly interacting with hydrogen (Pd) under fast supercooling. Kinetics of change of order parameter and hydrogen solubility is calculated both for isothermal holding and continuous cooling.

Key words: iron alloys, hydrogen, Fe–Pd–H alloys, short-range order, kinetics.

В исследовании [1] нами было показано, что в тройных растворах замещения-внедрения на основе α -железа, таких как сплавы Fe–Pd–H, атомы замещения (Pd), фактически неподвижные ниже 500°C , могут создавать сильные связи с атомами водорода, а потому выступают для последних как ловушки [2]. Ближний порядок во взаимном расположении атомов водорода и палладия проявляется даже при низких концентрациях палладия ($\theta_{\text{Pd}} < 0,01$) и водорода ($\theta_{\text{H}} < 0,0001$) и приводит к возрастанию растворимости водорода в области относительно низких температур (ниже 200°C), хотя растворимость водорода в чистом α -железе непрерывно уменьшается при понижении температуры [3]. Вследствие подобного снижения растворимости водород выделяется в любой поре, образуя газ H_2 , причём его давление P_{H_2} в образце, содержащем микропоры, изменяется с понижением температуры по кривой с максимумом, расположенным в районе 100°C . Именно при этих температурах в сталях возникают специфические дефекты – флокены, представляющие собой тонкие трещины, заполненные водородом, причём его количество постоянно пополняется в результате диффузионного стекания атомов водорода к поверхности трещины и её развития.

Зависимость давления, точнее фугитивности, от температуры и содержания водорода в сплаве C_{H}^0

$$P_{\text{H}_2}^{1/2} = \frac{RT\beta C_{\text{H}}^1}{4f} \left[\left(\frac{8fC_{\text{H}}^0}{RT\beta \cdot (C_{\text{H}}^1)^2} + 1 \right)^{1/2} - 1 \right] \quad (1)$$

отражает компромисс между законом Сивертса $C_{\text{H}} = l \exp(-U/RT) P_{\text{H}_2}^{1/2}$, из которого следует, что давление P_{H_2} молекулярного водорода в микропоре стали при неограниченном запасе растворённого водоро-

да должно возрастать с понижением температуры по

уравнению $P_{\text{H}_2} = \left(\frac{C_{\text{H}}^0}{l} \right)^2 \exp\left(\frac{2U}{RT}\right)$, и законом состоя-

ния идеального газа $P_{\text{H}_2} = \frac{m_{\text{H}_2}}{A_{\text{H}_2}} \cdot \frac{RT}{V}$, по которому

давление P_{H_2} при $T \rightarrow 0$ должно обращаться в ноль. В

уравнении (1) через C_{H}^0 обозначена концентрация водорода в сплаве (в см^3 газа H_2 при нормальных условиях на 100 г металла), а величина $C_{\text{H}}^1 = l \exp(-U/RT)$ представляет растворимость водорода в сплаве при давлении его пара 1 атм; U – энергия активации растворения водорода; f – объёмная доля пор; l и β – константы.

Разработав статистическую модель тройного раствора Fe–Y–H, где Y – произвольный элемент замещения, атомы которого, в отличие от водорода, при рассматриваемых относительно низких температурах можно считать диффузионно «замороженными», авторы [1] получили выражение для растворимости водорода в сплаве Fe–Y в виде

$$\ln C_{\text{H}}^1 = 3,8614 - \frac{3269,8}{T} + \ln \left(1 - \theta_Y + \theta_Y \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \right) \quad (2)$$

где $E = N_0 \varepsilon = N_0 (\varepsilon_{Y-H} - \varepsilon_{\text{Fe-H}})$ – разность энергий взаимодействия атомов Y–H и Fe–H; N_0 – число Авогадро; θ_Y – доля атомов Y в бинарном сплаве с железом. Первые два слагаемых в (2) отражают растворимость водорода в чистом железе [4]. При использовании данных В.И. Архарова [5] для растворимости водорода в среднеуглеродистой стали, содержащей 0,5 мас. % (0,26 ат. %) палладия, было установлено, что $E = -32000$ Дж/моль.

Расчёты давления водорода на основе выражений (1) и (2) показали, что добавление к железу 0,26 ат. %Pd снижает максимальное давление в порах с 10^9 до $3 \cdot 10^7$ Па. Тем самым было количественно подтверждено, что в основе эффекта В.И. Архарова – предотвращения образования флокенов в стали при её легировании малыми добавками палладия – лежит рост растворимости водорода, что предполагал и сам В.И. Архаров [6].

1. Кинетическая теория ближнего упорядочения в изотермических условиях

Однако при выводе и применении уравнения (2) было неявно принято, что охлаждение сплавов послековки или противофлокенового отжига проводится достаточно медленно, так что при любой температуре в сплаве устанавливается равновесный ближний порядок, определяющий степень захвата атомами палладия атомов водорода в твёрдом растворе. В действительности охлаждение образцов от исходной высокой до произвольной температуры можно провести быстро, например, струями воды. В связи с этим возникает задача о кинетике ближнего упорядочения атомов водорода в произвольных изотермических условиях, а также при непрерывном охлаждении. Её решению и посвящено настоящее исследование.

В качестве основного будем использовать подход к проблеме ближнего упорядочения в сплавах, использованный М.А. Штремелем с сотрудниками [7]. За меру ближнего порядка в расположении атомов палладия и водорода возьмём параметр

$$p = p_{H-Pd} = \frac{N_{H-Pd}}{\nu N \theta_H z_{21}}, \quad (3)$$

представляющий вероятность события, что данный ближайший к атому водорода, расположенному в тетрапоре, узел основной решётки занят атомом палладия. В этом выражении N_{H-Pd} – число пар H-Pd;

$N = N_{Fe} + N_{Pd}$ – число атомов основной решётки;

$\theta_H = \frac{N_H}{\nu N}$ – доля тетраэдрических пор, занятых атомами водорода;

$z_{21} = 4$ – число ближайших атомов, окружающих атом водорода, находящийся в тетраэдрической поре ОЦК-решётки; $\nu = 6$ – число тетрапор, приходящихся на один атом основной решётки. В условиях непрерывной миграции атомов водорода по решётке происходят перескоки из одной тетрапоры в соседнюю, причём эти поры могут отличаться количеством атомов палладия в ближайшем окружении. Поскольку энергетический барьер при перескоке атома водорода от атома палладия выше, чем к атому палладия, на величину $\varepsilon = E/N_0$, то возникает различие частот перескоков, вследствие чего количество атомов водорода, соседствующих с атомами палладия, будет возрастать, пока не достигнет равновесного значения. После любого изменения температуры в сплаве происходит процесс установления нового равновесного значения параметра порядка.

Чтобы описать аналитически этот процесс, будем использовать общее кинетическое уравнение (13, б) работы [7], но примем, что взаимное расположение

атомов Fe и Pd, а также атомов водорода и свободных тетрапор является неупорядоченным; в этом случае два других параметра порядка $p_{Pd-Fe} = 1 - \theta_{Pd}$ и $p_{H-H} = \theta_H$ [7]. Тогда упомянутое кинетическое уравнение ближнего упорядочения примет вид

$$\frac{dp}{d\tau} = z_2 \frac{3D_H^0}{2\beta^2} \left[\left(1 - p \left(1 - \frac{1}{V} \right) \right) \left(1 + \frac{\theta_{Pd} - p\theta_H}{1 - \theta_H} (V - 1) \right) \right]^{z_2 - 1} \times, \quad (4)$$

$$\times \theta_H V \left(1 - \frac{1}{V^2} \right) M(p)$$

где $V = \exp\left(-\frac{\varepsilon}{2kT}\right)$; $D_H^0 = 2,173 \cdot 10^{-3} \exp(-12195/RT)$ см²/с – коэффициент диффузии водорода в чистом железе [4]; $\beta = a \frac{\sqrt{2}}{4} = 1,013 \text{ \AA}$ – расстояние между ближайшими тетрапорами; τ – время.

Параметр z_2 определён в [7] как

$$z_2 = z_{21} - u, \quad (5)$$

где z_{21} – число атомов основной решётки, окружающих тетраэдрическую пору, а u – количество атомов основной решётки, являющихся ближайшими одновременно для двух соседних тетрапор. Анализ геометрии решёток приводит к значениям $z_{21} = 4$ и $u = 3$; следовательно, $z_2 = 1$. Поэтому формулу (4) можно существенно упростить. Через $M(p)$ в ней обозначен полином второй степени по переменной p , обращение в ноль которого отражает условие квазихимического равновесия [7]. Два корня этого уравнения

$$p_{1,2} = \frac{-[1 + (1 - \theta_H - \theta_{Pd})h] \pm \sqrt{[1 + (1 - \theta_H - \theta_{Pd})h]^2 + 4\theta_H\theta_{Pd}h}}{2\theta_H h}, \quad (6)$$

где

$$h = \frac{1}{V^2} - 1 = \exp\left(\frac{\varepsilon}{kT}\right) - 1. \quad (7)$$

Равновесное значение параметра порядка p^0 определяет положительный корень. Второй, отрицательный, не имеет ясного физического смысла. Но поскольку рассматриваемый полином может быть представлен в форме $\theta_H h (p - p^0)(p - p_2)$, то второй корень также попадает в выражение (4). Отметим, что формула (6) для корней $M(p)$ оказалась громоздкой. Упростим её, используя малость θ_H в рассматриваемых сплавах: разложим числитель выражения (6) в ряд по степеням θ_H , ограничившись слагаемым второй степени. Учитывая, что знаменатель содержит θ_H , найдём

$$p^0 = p_1 \approx \frac{\theta_{Pd}}{1 + (1 - \theta_{Pd})h} + \frac{h(h+1)\theta_{Pd}(1 - \theta_{Pd})}{(1 + (1 - \theta_{Pd})h)^3} \theta_H; \quad (8, a)$$

$$p_2 \approx -\frac{1 + (1 - \theta_{Pd})h}{\theta_H h} + \frac{(1 - \theta_{Pd})(h+1)}{1 + (1 - \theta_{Pd})h} - \frac{h(h-1)\theta_{Pd}(1 - \theta_{Pd})}{(1 + (1 - \theta_{Pd})h)^3}. \quad (8, б)$$

Оценки величины этих слагаемых привели к выводу, что, по крайней мере для сплавов Fe-Pd-H, можно ограничиться первыми членами:

$$p^0 = \frac{\theta_{Pd}}{1+(1-\theta_{Pd})h}; p_2 = -\frac{1+(1-\theta_{Pd})h}{\theta_H h}, \quad (9)$$

причём $|p_2| \gg p^0$, поэтому в сомножителе $(p-p_2)$ можно пренебречь величиной p . Тогда дифференциальное уравнение, (4) примет вид

$$\frac{dp}{d\tau} = -\frac{3D_H^0}{2\beta^2} V [1+(1-\theta_{Pd})h](p-p^0). \quad (10)$$

Это уравнение можно получить и иначе. Из определения p как вероятности события, что соседний с атомом водорода узел основной решётки заполнен атомом Pd, следует, что величина $N_{H,1} = N_H z_{21} p = N_H v z_{21} \theta_H^0 p$ представляет число атомов водорода, связанных с атомами палладия, тогда как $N_{H,2} = N_H v z_{21} \theta_H^0 (1-p)$ есть число атомов водорода, окружённых только атомами железа. Изменение $N_{H,1}$ обусловлено перескоками атомов водорода. Если, например, атом H контактирует с одним атомом палладия, то три из четырёх возможных перескоков атома водорода в соседние тетрапоры не изменяют ближайшее соседство H-Pd, и только перескок в четвёртую тетрапору с вероятностью $(1-\theta_{Pd})$ открывает возможность образования ещё одной связи H-Fe. Поэтому величина $-N_{H,1}(1-\theta_{Pd})\frac{1}{4}\Gamma \exp(\varepsilon/kT)$ представляет количество атомов водорода, отрывающихся от атомов Pd в единицу времени. Здесь Γ – частота перескоков атомов водорода по решётке внедрения в α -железе, а множитель $\exp(\varepsilon/kT)$ показывает, что потенциальный барьер при перескоке атома водорода от атома Pd к атому Fe повышен на величину энергии ε по сравнению с обратным перескоком, для которого энергия активации принимается такой же, как в чистом железе.

Если атом H из числа $N_{H,2}$ находится в окружении только атомов железа, то его перескок в соседнюю тетрапору с вероятностью θ_{Pd} создаёт возможность появления нового соседа Pd. Следует только учитывать, что в данную пору можно перескочить из четырёх соседних пор. Поэтому $\frac{1}{4}\Gamma\theta_{Pd}N_{H,2}$ представляет количество новых пар H-Pd, возникающих в единицу времени. В итоге можно записать:

$$\frac{\partial N_{H,1}}{\partial \tau} = \frac{1}{4}\Gamma\theta_{Pd}N_{H,2} - \frac{1}{4}\Gamma(1-\theta_{Pd})\exp(\varepsilon/kT)N_{H,1}, \quad (11)$$

а затем перейти к уравнению для параметра ближнего порядка, которое получается аналогичным (4), но коэффициент пропорциональности в нём не содержит

множителя $V = \exp\left(-\frac{\varepsilon}{2kT}\right)$. Становится очевидным,

что величина $D_H = D_H^0 [1+(1-\theta_{Pd})h]V$ в уравнении (10) определяет коэффициент диффузии водорода в тройном сплаве, содержащем примеси атомов Pd, сильно взаимодействующих с водородом. Различие в результатах расчёта D_H в двух вариантах обусловлено сделанным в работе [7] предположением, что потенциальный барьер для мигрирующего атома водорода увеличен вблизи атома палладия не на величину энергии связи $|\varepsilon|$, а на $|\varepsilon/2|$. Чтобы избежать нечёткости определения барьера, используем развитую Ориани [8] общую термодинамическую теорию коэффициента диффузии в условиях существования в образце центров захвата атомов водорода, таких как вакансии, дислокации, примесные атомы, дислокации и т.п. В общую формулу, полученную им:

$$D_H = D_H^0 \cdot \frac{1}{1+K \frac{N_X}{N_L}}, \quad (12)$$

входят N_L и N_X – количество нормальных и особых мест расположения атомов водорода в расчёте на единицу объёма, а

$$K = \exp(-\Delta E_X/kT) \quad (13)$$

есть константа равновесия для реакции $H_{\text{норм}} \leftrightarrow H_{\text{захв}}$. Величина $\Delta E_X = \varepsilon$ представляет уменьшение потенциальной энергии при помещении атома водорода в позицию захвата. Формула (12) была позднее получена другими методами в теоретических работах [9] и [10]. Результаты её экспериментальной проверки рассмотрены в [8, 11] и др. Формулу (12) можно считать достаточно надёжной. Если в качестве центров захвата рассматривать атомы палладия, то в образце объёмом V_0 плотность мест захвата $N_X = z_{12} \frac{N_{Pd}}{V_0}$, где

$z_{12} = 24$ – число тетрапор, окружающих атом основной решётки, тогда как плотность нормальных мест

$N_L = \frac{vN}{V_0}$, ибо на один атом ОЦК решётки приходится

$v = 6$ тетрапор. Следовательно, отношение

$\frac{N_X}{N_L} = \frac{24N_{Pd}}{6N} = 4\theta_{Pd}$, а выражение для коэффициента

диффузии водорода в сплаве Fe-Pd примет вид

$$D_H = D_H^0 \cdot \frac{1}{1+4\theta_{Pd} \exp(-E/RT)}. \quad (14)$$

В связи со сделанным уточнением уравнение (10) следует переписать в виде

$$\frac{dp}{d\tau} = -\frac{3D_H^0}{2\beta^2 [1+4\theta_{Pd} \exp(-E/RT)]} (p-p^0). \quad (15)$$

Рассмотрим решение этого уравнения для двух вариантов нестационарного процесса: резкое переохлаждение сплава от высокой температуры с последующей изотермической выдержкой при различных температурах и непрерывное охлаждение от высокой температуры с постоянной скоростью.

2. Изменение растворимости водорода в процессе выдержки

Допустим, что сплав был нагрет и выдержан при относительно высокой температуре T_0 , так что установилось равновесное значение параметра ближнего порядка $p^0(T_0)$, а затем переохлажден до температуры T_1 , близкой или равной комнатной, и выдержан в течение времени τ от этого момента. Для этого случая уравнение (15) имеет очевидное решение:

$$p(T_1, \tau) = p^0(T_1) + (p^0(T_0) - p^0(T_1)) \cdot \exp(-\lambda \tau), \quad (16)$$

где

$$\lambda = \frac{3D_H^0}{2\beta^2} \cdot \frac{1}{1 + 4\theta_{Pd} \exp(-E/RT)}. \quad (17)$$

В те моменты времени, когда параметр p ещё не равен равновесному значению p^0 при рассматриваемой температуре, выражение (2) для растворимости водорода становится неточным, и его следует заметить на более общее

$$\ln C_H^1 = 3,8614 - \frac{3269,8}{T} + \ln \left(\frac{1 - \theta_{Pd}}{1 - p} - \theta_H \right), \quad (18)$$

вытекающее из статистической теории сплава [1]. Определяемая при этом растворимость водорода в α -железе при $P_{H_2} = 1$ атм является как бы мгновенной.

Результаты численных расчётов по формуле (18) при нескольких температурах для сплава с 0,26 ат. %Pd приведены на рис. 1. Кинетические кривые изменения параметра порядка для различных температур выдержки представлены на рис. 1, а. Начальное небольшое значение p установилось при температуре $T_0 = 680^\circ\text{C}$, от которой проводится мгновенное переохлаждение. Подъём величины p обусловлен установлением нового равновесного порядка. При комнатной температуре переход к новому равновесию происходит в течение ничтожно малого промежутка времени – 10^{-10} – 10^{-7} с. Лишь при температурах ниже -120°C этот период установления порядка начинает исчисляться секундами. Изменение растворимости водорода в ходе изотермических выдержек показано на рис. 1, б. Здесь важно иметь в виду, что хотя равновесная растворимость водорода в чистом железе непрерывно понижается при уменьшении температуры, однако достаточно добавить к железу 0,26 ат. %Pd, как в районе 200°C появляется минимум растворимости, так что при дальнейшем понижении температуры до 0 К растворимость водорода возрастает [1]. Именно по этой причине растворимость водорода при -150°C и больших значениях τ оказывается самой высокой.

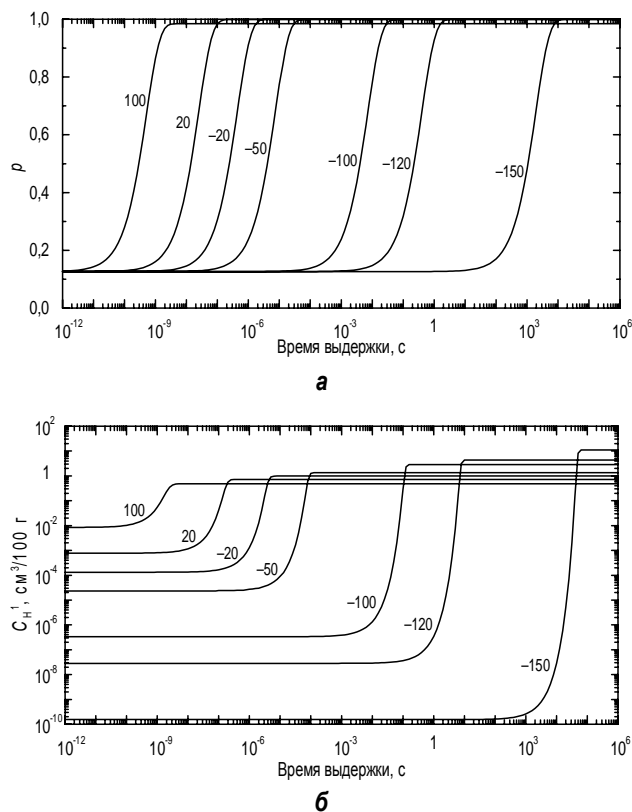


Рис. 1. Зависимости параметра порядка p (а) и «мгновенной» растворимости водорода C_H^1 (б) от времени изотермической выдержки для сплава железа с $\theta_{Pd} = 2,6 \cdot 10^{-3}$ и $\theta_H = 1 \cdot 10^{-4}$ ($C_H = 12 \text{ см}^3/100 \text{ г}$). Цифры у кривых – температуры выдержки в градусах Цельсия

3. Релаксация ближнего порядка в условиях непрерывного охлаждения

В случае неизотермического процесса, например охлаждения с постоянной скоростью w , дифференциалы dT и $d\tau$ связаны простым соотношением $dT = -w d\tau$, поэтому, используя уравнение (15), можно легко получить связь dp и dT :

$$\frac{dp}{p - p^0} = -\frac{\lambda(T)}{w} dT \quad (19)$$

и перейти к численным расчётам. Скорость охлаждения оказывает заметное влияние на параметр порядка лишь при охлаждении со скоростями, превышающими гигантскую величину 10^{10} К/с. Очевидно, что это обусловлено исключительно быстрой диффузией атомов водорода по тетрапорам. При скоростях охлаждения, меньших указанной величины, растворимость водорода характеризуется появлением максимума в районе температур $100 \dots -100^\circ\text{C}$ (рис. 2), обусловленного тем простым обстоятельством, что относительно низкие значения коэффициента диффузии ($< 100^\circ\text{C}$) не обеспечивают значительного прироста параметра p при дальнейшем охлаждении, по-

этому третье слагаемое в уравнении (18) «замораживается», а второе слагаемое продолжает уменьшаться при понижении температуры.

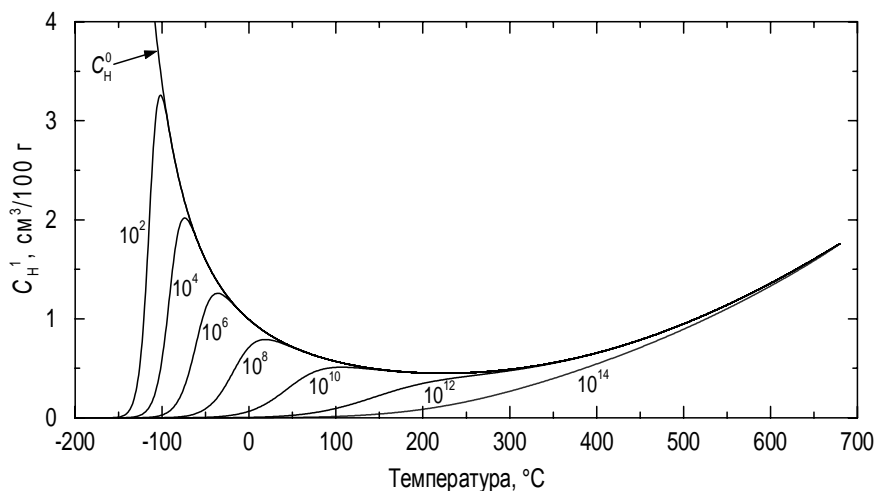


Рис. 2. Температурные зависимости «мгновенной» растворимости водорода

C_H^1 для сплава железа с $\theta_{Pd} = 2,6 \cdot 10^{-3}$ и $\theta_H = 1 \cdot 10^{-4}$ ($C_H = 12 \text{ см}^3/100 \text{ г}$).

Цифры у кривых – скорости охлаждения в К/с

Итоги работы:

1. На примере сплавов Fe–Pd–H развита теория ближнего упорядочения атомов водорода и растворённых в железе атомов замещения, между которыми проявляется сильное притяжение.

2. При резком переохлаждении сплава на новую изотерму должен проявиться период нестационарности, который для сплава с 0,5 мас. %Pd при температуре изотермы 20°C составляет ничтожно величину 10^{-7} с; лишь при -120°C период установления ближнего порядка приобретает заметную длительность (несколько секунд), а при -150°C он исчисляется уже часами.

3. Поскольку ближний порядок усиливается при понижении температуры, но кинетика его установления зависит от коэффициента диффузии водорода, то при охлаждении со скоростями меньше 10^{10} К/с растворимость водорода в указанном сплаве проходит вначале через минимум в районе 200°C , а затем через максимум при $100 \dots -100^\circ\text{C}$.

Список литературы

1. Мирзаев, Д.А. Термодинамические аспекты влияния малых добавок палладия на растворимость водорода и флокенообразование в сталях / Д.А. Мирзаев, А.А. Мирзоев, И.В. Кашуков, К.Ю. Окишев // Физика металлов и металловедение. 2009. Т. 108. № 5. С. 525–533.
2. Kim, K.T. Effect of alloying elements on hydrogen diffusivity in α -iron / K.T. Kim, J.K. Park, J.Y. Lee, S.H. Hwang // J. Materials Science. 1981. V. 16. No. 9. Pp. 2590–2596.
3. Гельд, П.В. Водород в металлах и сплавах / П.В. Гельд, Р.А. Рябов. Москва: Металлургия, 1974. 272 с.
4. Geller, W. Einfluß von Legierungszusätzen auf die Wasserstoffdiffusion im Eisen und Beitrag zum System Eisen-Wasserstoff / W. Geller, Tak-Ho Sun // Archiv für das Eisenhüttenwesen. 1950. Jg. 21. H. 11/12. S. 423–430.

5. Архаров, В.И. Влияние малых добавок палладия на водородопроницаемость среднелегированной стали / В.И. Архаров, Т.Т. Мороз, И.А. Новохатский, М.И. Еремина, С.И. Хохлова // Физ.-хим. механика материалов. 1971. Т. 7. № 6. С. 51–54.
6. Архаров, В.И. О влиянии палладия на флокеночувствительность стали / В.И. Архаров, Т.Т. Мороз, И.А. Новохатский, С.И. Хохлова, М.Е. Еремина // Физ.-хим. механика материалов. 1976. Т. 12. № 1. С. 47–51.
7. Штремель, М.А. Ближний порядок в тройных твёрдых растворах замещения-внедрения / М.А. Штремель, Ю.А. Крупин, Е.Б. Зарецкий // ФММ. 1978. Т. 46. Вып. 5. С. 984–993.
8. Oriani, R.A. The diffusion and trapping of hydrogen in steel / R.A. Oriani // Acta Met. 1970. V. 18. No. 1. Pp. 147–157.
9. Гапонцев, А.В. Анализ процессов диффузии водорода в металлах и сплавах с кристаллическим беспорядком: автореф. дис. ... к.ф.-м.н. / А.В. Гапонцев. Екатеринбург: ИФМ УрО РАН, 2003. 23 с.
10. Kirchheim, R. Solubility, diffusivity and trapping of hydrogen in dilute alloys. Deformed and amorphous metals – II / R. Kirchheim // Acta Met. 1982. V. 30. No. 6. Pp. 1069–1078.
11. Riecke, E. Einflüsse von Mo, V, Nb, Ti, Zr und deren Karbiden auf die Bindungszustände des Wasserstoffs in Eisen und das Bruchverhalten der Eisenlegierungen / E. Riecke, B. Johnen // Werkstoffe und Korrosion. 1991. Jg. 42. Nr. 12. S. 626–636.

Bibliography

1. Mirzaev, D.A. Thermodynamic aspects of the effect of small palladium additions on the solubility of hydrogen and flaking in steels / D.A. Mirzaev, A.A. Mirzoev, I.V. Kashukov, K.Yu. Okishev // The Physics of Metals and Metallography. 2009. V. 108. No. 5. Pp. 496–503.
2. Kim, K.T. Effect of alloying elements on hydrogen diffusivity in α -iron / K.T. Kim, J.K. Park, J.Y. Lee, S.H. Hwang // J. Materials Science. 1981. V. 16. No. 9. Pp. 2590–2596.
3. Geld, P.V. Hydrogen in metals and alloys / P.V. Geld, R.A. Ryabov. Moscow: Metallurgiya, 1974. 272 pp.
4. Geller, W. Einfluß von Legierungszusätzen auf die Wasserstoffdiffusion im Eisen und Beitrag zum System Eisen-Wasserstoff / W. Geller, Tak-Ho Sun // Archiv für das Eisenhüttenwesen. 1950. Jg. 21. H. 11/12. S. 423–430.
5. Arkharov, V.I. Effect of small palladium additions on hydrogen permeation in a middle-alloy steel / V.I. Arkharov, T.T. Moroz, I.A. Novokhatsky, M.I. Eremina, S.I. Khokhlova // The Physical and Chemical Mechanics of Materials. 1971. V. 7. No. 6. Pp. 51–54.
6. Arkharov, V.I. On effect of palladium upon flaking susceptibility of steel / V.I. Arkharov, T.T. Moroz, I.A. Novokhatsky, S.I. Khokhlova, M.I. Eremina // The Physical and Chemical Mechanics of Materials. 1976. V. 12. No. 1. Pp. 47–51.
7. Shtremel, M.A. Short-range order in substitutional-interstitial ternary solid solutions / M.A. Shtremel, Yu.A. Krupin, E.B. Zaretsky // The Physics of Metals and Metallography. 1978. V. 46. No. 5. Pp. 984–993.
8. Oriani, R.A. The diffusion and trapping of hydrogen in steel / R.A. Oriani // Acta Met. 1970. V. 18. No. 1. Pp. 147–157.
9. Gapontsev, A.V. Analysis of diffusion processes of hydrogen in metals and alloys with crystalline disorder: Abstract of thesis (cand. phys. and math. science). Ekaterinburg: Institute of Metal Physics, Ural Branch RAS, 2003. 23 pp.
10. Kirchheim, R. Solubility, diffusivity and trapping of hydrogen in dilute alloys. Deformed and amorphous metals – II / R. Kirchheim // Acta Met. 1982. V. 30. No. 6. Pp. 1069–1078.
11. Riecke, E. Einflüsse von Mo, V, Nb, Ti, Zr und deren Karbiden auf die Bindungszustände des Wasserstoffs in Eisen und das Bruchverhalten der Eisenlegierungen / E. Riecke, B. Johnen // Werkstoffe und Korrosion. 1991. Jg. 42. Nr. 12. S. 626–636.

УДК 669.14: 621.726

Гадалов В.Н., Сальников В.Г., Романенко Д.Н., Алехин Ю.Г., Квашнин Б.Н.

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ЦИАНИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗОХРОМИСТЫХ ПОКРЫТИЙ

Исследовано влияние концентрационных изменений в электролите и режимов электролиза на состав и структуру гальванических осадков. Для устранения недостатков, присущих гальваническим покрытиям, обеспечения их высокой износостойкости и улучшения их эксплуатационных характеристик предложено низкотемпературное цианирование. Наибольший эффект цианирования достигается при $T=923$ К, что соответствует наибольшей толщине диффузионного слоя.

Ключевые слова: низкотемпературное цианирование, железохромистые покрытия, электроосаждение, упрочнение, износостойкость, восстановление.

Influence of concentration changes in electrolyte and influence of modes electrolysis on structure and structure of galvanic deposits is investigated. For elimination of the lacks, inherent in galvanic coverings to provide their high wear resistance and to improve their operational characteristics it is offered low-temperature cyanidation. The greatest effect cyanidation is reached at $T=923$ K that corresponds to the greatest thickness of a diffusive layer.

Key words: low-temperature cyanidation, iron-chrom coverings, electrosedimentation, hardening, wear resistance, restoration.

Электроосаждение железохромистых покрытий проводилось из сернокислого электролита состава (кг/м^3): сернокислое железо FeSO_4 – 250–400; нитрат хрома $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ – 5–20; сульфат натрия Na_2SO_4 – 20–40, используя ток переменной полярности [1] (асимметричный), что повышало производительность осаждения в 1,4–1,8 раза по сравнению со стационарным процессом (на постоянном токе). Для чего была применена установка с двумя встречно включенными вентилями, позволяющая варьировать в широких пределах режимы электроосаждения.

Цианирование образцов с железохромистыми покрытиями проводили в пастообразной среде на основе сажи и азотсодержащего компонента (50% – сажи; 50% – желтой кровяной соли; связующий компонент – органический клей) при температуре 873–923 К. Температурный режим цианирования в пастообразной среде соответствует температурам высокого отпуска улучшаемых доэвтектоидных сталей, детали из которых подвергались восстановлению электроосажденными Fe-Cr покрытиями. В связи с этим структура и свойства основного металла, как правило, после такой комбинированной обработки не изменяются.

В работе исследовались цианированные электролитические покрытия на сталях 20–50 с содержанием хрома в гальваническом осадке $\approx 1,0$ –3,0%.

Изучение влияния показателя асимметрии (отношение величины катодного тока к анодному) на выход по току железохромистого осадка показало, что при показателе асимметрии $\beta = 5$ –6 наблюдается максимальный выход по току 85–88%. Плотность катодного тока при оптимальном значении показателя асимметрии может быть доведена до весьма больших величин $D_k=40$ –50 А/дм^2 , что позволяет получить скорость осаждения железохромистого покрытия до 0,7 мм/ч . При этих режимах электролиза качество покрытий (отсутствия трещин) остается достаточно высоким.

В работе было исследовано влияние концентрационных изменений в электролите и влияние режимов электролиза на состав и структуру гальванических осадков. Увеличение концентрации азотнокислого хрома в электролите приводит к практически прямо

пропорциональному повышению содержания хрома в гальваническом осадке (рис. 1).

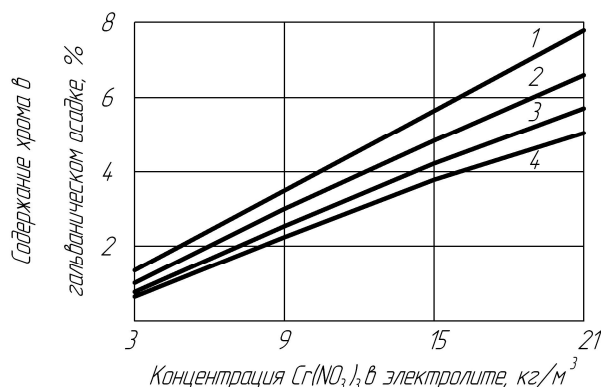


Рис. 1. Зависимости содержания хрома в гальваническом осадке от концентрации азотнокислого хрома в электролите при различных концентрациях сернокислого железа: 1–250 кг/м^3 ; 2–300 кг/м^3 ; 3–350 кг/м^3 ; 4–400 кг/м^3

Кроме состава электролита на содержание хрома в железохромистых осадках заметно влияют режимы электролиза. Наибольшее влияние на эту характеристику оказывает величина коэффициента асимметрии, в меньшей степени – плотность катодного тока. Максимальное содержание хрома при прочих равных условиях получается в гальваническом покрытии при $\beta = 6$ и $D_k = 40$ А/дм^2 . Дальнейшее увеличение значений как коэффициента асимметрии, так и плотности катодного тока не вызывает повышения содержания хрома в покрытии, но приводит к ухудшению структуры (появлению большого количества дефектов). Повышение температуры электролита приводит во всех случаях к снижению концентрации хрома в осадке.

Результаты проведенного эксперимента позволяют рекомендовать следующие оптимальные режимы электроосаждения железохромистых покрытий: плотность катодного тока $D_k=40$ –50 А/дм^2 , коэффициент асимметрии $\beta=6$ и температура электролита $t=20^\circ\text{C}$. Содержание хрома в покрытии целесообразно регу-

лирование введением в электролит того или иного количества азотнокислой хромистой соли при концентрации $\text{FeSO}_4 \approx 300\text{--}350 \text{ кг/м}^3$.

При комплексном подходе к поверхностному упрочнению стальных изделий, т.е. нанесению электролитического покрытия и его последующей цементации, задача операции электроосаждения сводится к получению возможно большей скорости осаждения. При этом также необходимо стремиться к получению плотной структуры и хорошего сцепления покрытия с основой, что положительно скажется на свойствах упрочняемых деталей.

Экспериментальные исследования показывают, что железохромистым покрытиям, полученным на асимметричном токе при всех режимах осаждения, в той или иной степени присуще слоистое строение (рис. 2).

Увеличение степени слоистости покрытия (толщины слоев) сопровождается снижением его плотности и ухудшением механических свойств. Причиной этого явления, по всей вероятности, является накопление в покрытии дефектов, чему способствует высокая скорость электрокристаллизации и низкая температура процесса.

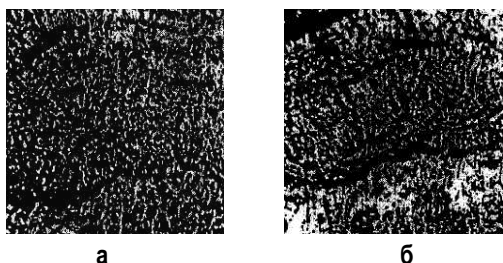


Рис. 2. Микроструктуры железохромистых покрытий, полученных на асимметричном токе ($\beta=6$) при различных плотностях катодного тока: а – 10 А/дм^2 ; б – 40 А/дм^2 ($\times 300$)

Неотъемлемым свойством гальванических осадков является наличие в них внутренних растягивающих напряжений, значительно снижающих усталостные характеристики, а также отрицательно влияющих на твердость, износостойкость и другие свойства. Радикальным методом, который позволит устранить все недостатки, присущие гальваническим покрытиям, обеспечить их высокую износостойкость и улучшить их эксплуатационные характеристики, может быть химико-термическая обработка, в частности низкотемпературное цианирование.

Наибольший эффект цианирования достигается при $T = 923 \text{ К}$, что соответствует наибольшей толщине диффузионного слоя. Температура цианирования решающим образом влияет не только на толщину карбонитридной зоны диффузионного слоя, но и на фазовый состав этой зоны. При относительно низких температурах цианирования ($823\text{--}873 \text{ К}$) карбонитридные зоны представлены, в основном, карбонитридами γ' , толщина этих зон невелика. При повышении температуры до 923 К в карбонитридных зонах преобладает карбонитрид ϵ ($80\text{--}85\%$), и толщина этих зон значительно увеличивается.

Гексагональный карбонитрид ϵ согласно [3] обладает самой широкой областью гомогенности по срав-

нению с другими карбонитридами системы Fe-C-N, поэтому здесь имеются лучшие условия для диффузии азота и углерода в покрытие и образуется карбонитридная зона большой толщины ($0,050 \text{ мм}$ за два часа).

Ниже зоны карбонитрида ϵ в диффузионном слое цианированных электролитических покрытий обоих видов имеется прослойка с азотисто-углеродистым остаточным аустенитом пониженной твердости ($3000\text{--}4500 \text{ МПа}$). Толщина этой прослойки составляет $0,015\text{--}0,020 \text{ мм}$.

Металлографические исследования Fe – Cr сплава после цианирования показали (рис. 3), что в поверхностном слое покрытия образуется карбонитридная зона толщиной до $0,5 \text{ мм}$ с микротвердостью $12000\text{--}13000 \text{ МПа}$.

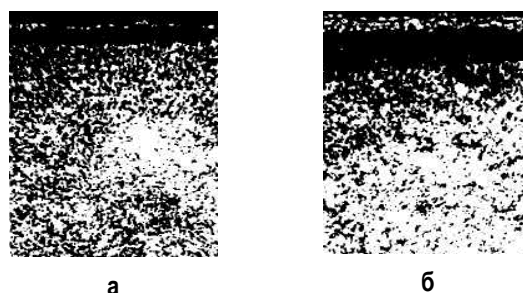


Рис. 3. Микроструктуры диффузионных слоев, полученных при низкотемпературном цианировании: а – 823 К ; б – 923 К ($\times 200$)

Рентгеноструктурный анализ [4] показал, что на поверхности цианированных $823\text{--}973 \text{ К}$ сталей образовались карбонитридные слои, представленные в основном карбонитридом $\text{Fe}_{2-3}(\text{CN})$ – фазой ϵ , которая обладает очень высокой твердостью. При температуре цианирования 650°C на поверхности образуется больше карбонитридов $\text{Fe}_3(\text{CN})$ – изоморфными с цементитом, твердость которых ниже.

Низкотемпературное цианирование может быть с успехом использовано для упрочнения деталей, восстановленных гальваническими покрытиями, так как толщина этих покрытий невелика $0,15\text{--}0,3 \text{ мм}$ и глубина насыщения при низкотемпературной обработке будет достаточной для их эффективного упрочнения. Кроме того, низкая температура обработки не изменяет структуру сердцевины восстанавливаемых деталей и не снижает их прочность.

Низкотемпературное цианирование, создавая в тонких поверхностных слоях остаточные напряжения сжатия, значительно повышает предел выносливости восстановленных деталей. Наши исследования показывают, что предел выносливости образцов с гальваническими покрытиями $0,15 \text{ мм}$ после цианирования повышается в 2,5 раза (от ≈ 180 до $450\text{--}470 \text{ МПа}$).

Цианирование электролитических железохромовых [1] и железо-вольфрамовых [5] покрытий позволяет значительно увеличить их твердость. Максимальное значение твердости наблюдается у образцов, цианированных в течение 2–3 ч (рис. 4, а), дальнейшее увеличение длительности обработки ведет к снижению твердости, хотя толщина диффузионных слоев возрастает (рис. 4, б).

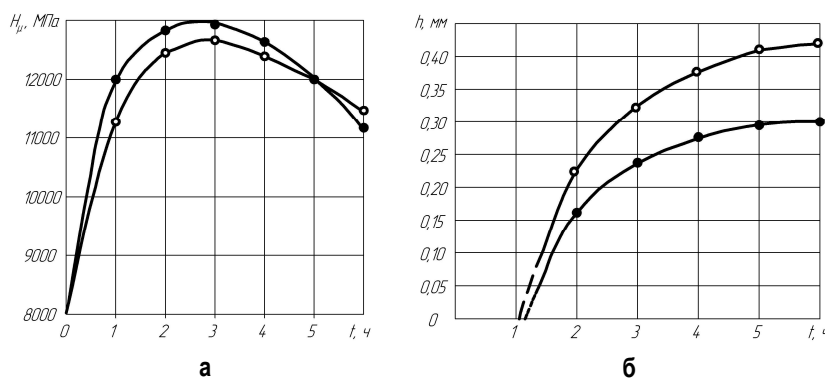


Рис. 4. Зависимости твердости (а) и толщины диффузионных слоев (б) на электролитических сплавах от длительности цианирования ($T=923\text{ К}$):
 —○— Fe+1,5% Cr; —●— Fe+2,5% W

Объяснить такую зависимость твердости электролитических покрытий от длительности процесса цианирования можно, по-видимому, особенностями кинетики совместного насыщения стали азотом и углеродом. Согласно [3] на первой стадии процесса главную роль в образовании твердой фазы (карбонитридной зоны) играет азот, который, благодаря большей растворимости в аустените и большей диффузионной подвижности, способствует образованию карбонитридных фаз, богатых азотом и обладающих повышенной твердостью.

По мере насыщения стали углеродом, чему во многом способствует азот, так как ускоряет диффузию углерода, наступает этап, характеризующийся ускоренным ростом углеродистых фаз, обладающих большей термодинамической устойчивостью по сравнению с азотистыми фазами. Происходит некоторое деазотирование цианированного слоя и, как следствие, снижение его твердости. Углерод, поступающий из внешней среды, только незначительно увеличивает толщину твердой корки, а в основном диффундирует в глубину электролитического покрытия, тем более, что в исходном состоянии в этом покрытии углерода практически нет.

Важной характеристикой, определяющей долговечность восстановленных деталей, является их износостойкость. Зависимости износа цианированных слоев на железохромовых и железвольфрамовых электролитических покрытиях от длительности цианирования представлены на рис. 5.

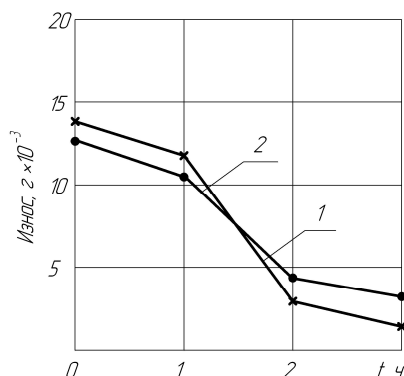


Рис. 5. Зависимости износа цианированных электролитических покрытий Fe-Cr (1) и Fe-W (2) при трении без смазки от времени цианирования

Характер зависимостей, представленных на рисунке, свидетельствует, что износостойкость цианированных слоев в условиях трения без смазки полностью определяется их твердостью. Следует отметить, что цианированные поверхности обладают очень высокой стойкостью против задира и схватывания. Образцы (ролики на машине трения СМЦ-2) с электролитическими покрытиями без цианирования получили первые следы задира при удельных нагрузках $\sim 0,7\text{ МПа}$; закаленные стальные образцы 40Х при 1,5 МПа; у цианированных образцов, даже при небольшой длительности обработки, значение этого показателя не опускалось ниже 4 МПа.

Выводы

Цианирование электроосажденного легированного железа позволяет получить карбонитридные слои значительной толщины, имеющие твердость до 13000 МПа, а также высокую износостойкость (в 5–6 раз выше износостойкости покрытий без цианирования).

Результаты исследования цианирования электролитических сплавов, применяемых при восстановлении изношенных деталей машин, послужили основой для разработки технологии упрочнения деталей, удобной для ремонтного производства, позволяющей значительно повысить их долговечность, а следовательно, и надежность отремонтированных машин

Список литературы

1. Пат. 2285065 РФ, МПК⁵¹ С25Д3156. Способ электрического осаждения сплава железо – хром [Текст] / В.И. Серебровский, Н.В. Коняев, Д.В. Колмыков; заявитель и патентообладатель КГСХА. № 2005106549102; заявл. 09.03.2005; опубл. 10.10.2006.
2. Долженков, В.В. Низкотемпературное цианирование в пастах [Текст] / В.В. Долженков, В.И. Колмыков, В.М. Переверзев [и др.] // Известия Курск. гос. техн. ун-та, 2001. №6. С. 61–64.
3. Прженосил, Б. Нитроцементация [Текст] / Б. Прженосил. Л.: Машиностроение, 1969. 212 с.
4. Горелик, С.С. Рентгенографический и электронно-оптический анализ: учеб. пособие для вузов. / С.С. Горелик, Ю.А. Скаков, Л.Н. Расторгуев. 4-е изд. М.: МИСиС, 2002. 360 с.
5. Пат. 2192509 РФ. Способ электролитического осаждения сплава железо – вольфрам / В.И. Серебровский [и др.]. №2192509. 2001. 6 с.
6. Пивяский, Р.С. Гальванические покрытия / Р.С. Пивяский. Киев: Техника, 1975. 174 с.
7. Кудрявцев, Н.Т. Электролитические покрытия / Н.Т. Кудрявцев. М.: Химия, 1979. 352 с.
8. Гальванические покрытия в машиностроении: справочник / под ред. М.А. Шлугера. М.: Машиностроение, 1985.
9. Гадалов, В.Н. Упрочнение деталей транспортных машин гальваническими покрытиями / В.Н. Гадалов, В.И. Серебровский, Н.В. Коняев [и др.] // Сварка и родственные технологии в машиностроении и электронике. Курск, 2003. Вып. 5. С. 86–92.

Bibliographic

1. Serebrovsky, V.I. Sposob of electric sedimentation of an alloy iron – chrome [Text] / V.I. Serebrovsky, N.V. Konjaev, D.V. Kolmykov // the Stalemate. 2285065 Russian Federations, МРК51 С25Д3156; patent holder KSAА The demand 2005106549102, 3/9/2005; publ. 10/10/2006.
2. Dolzhenkov, V.V. Nizkotemperaturnoe cyanidation in pastes [Text] / V.V. Dolzhenkov, V.I. Kolmykov, V.M. Pereverzev [etc.] // News KSTU. 2001. №6. P. 61–64.
3. Przhenosil, B. Nitrosegmentatsija [Text] / B. Przhenosil // L: Mechanical engineering. 1969. 212 p.
4. Gorelik, S.S. Radiographic and electron-optical the analysis: studies. The grant for high schools. 4 ed. / S.S. Gorelik, J.A. Skakov, L.N. Rastorguev // M: MISA. 2002. 360 p.

- Serebrovsky, V.I. Sposob of electrolytic sedimentation of an alloy iron-tungsten / V.I. Serebrovsky [etc.] // the Patent for the invention. №2192509. 2001. 6 p.
- Pijavsky, the River With. Galvanic coverings / R.S. Pijavsky // Kiev: Technics. 1975. 174 p.
- Kudryavtsev, N.T. electrolytic of a covering / N.T. Kudryavtsev // M: Chemistry. 1979. 352 p.
- Galvanic coverings in mechanical engineering: a directory / under the editorship of M.A. Shlugera // M: Mechanical engineering. 1985. Т. 1. 240 p. Т. 2. 246 p.
- Gadalov, V.N. Hardening of details of transport cars by galvanic coverings / V.N. Gadalov, V.I. Serebrovsky, N.V. Konjaev [etc.] // Welding and related technologies in mechanical engineering and electronics. Kursk. 2003. №. 5. P. 86–92.

УДК 621.777:621.771.22

Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Трифоненков Л.П., Первухин М.В., Баранов В.Н., Лопатина Е.С., Довженко И.Н., Беспалов В.М.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА И ОЦЕНКА СВОЙСТВ ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ ИЗ СПЛАВА СИСТЕМЫ Al–Zr ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОПРОВОДНИКОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ЛИТЬЯ И ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

Представлены результаты экспериментальных исследований влияния технологии литья, качества шихтовых материалов и методов обработки на свойства и структуру литых и деформированных полуфабрикатов из сплава системы Al–Zr. Изучена структура и свойства металла образцов, полученных с использованием операций литья, совмещенной прокатки-прессования, совмещенного литья и прокатки – прессования, горячей сортовой прокатки, волочения и отжига. Приведены данные и по прочностным, пластическим свойствам полученных образцов, их микротвердости и удельного электросопротивления. Проведен сравнительный анализ влияния методов обработки на механические и электрофизические свойства полуфабрикатов и сделаны выводы о практическом применении исследуемого сплава для производства электропроводников.

Ключевые слова: переходные металлы, алюминиевые сплавы, совмещенные процессы, литье, прокатка, прессование, волочение, отжиг, механические свойства, структура, удельное электросопротивление.

The results of experimental studies on the effect casting technology, the quality of charge materials and processing techniques on the properties and structure of the cast and deformed semi-finished products of Al-Zr alloy. The structure and properties of the metal samples produced using casting operations, combined rolling-extrusion, combined casting and rolling-extrusion, hot flat-and-edge rolling, wire drawing and annealing was studied. The data concerning strength, plastic properties, microhardness and electrical resistivity of the samples obtained were presented. A comparative analysis of the influence of processing methods on the mechanical and electrical properties of semi-finished products was carried out and the conclusions about practical application for electric conductors of the alloy studied were made.

Key words: transition metals, aluminum alloys, combined processes, casting, rolling, extrusion, drawing, annealing, mechanical properties, structure, electrical resistivity.

В связи с изменением требований потребителей по механическим свойствам к деформируемым полуфабрикатам, используемым в силовых кабелях и проводах токопроводящих жил, резко возрастает потребление электротехнической катанки из сплавов алюминия. Реализуемая на рынках катанка для производства проводов и кабелей из сплава марки АВЕ имеет в качестве легирующих добавок кремний и магний, которые увеличивают прочностные характеристики, но существенно снижают электрическую проводимость проводов. С целью снижения потерь при передаче электроэнергии необходимо разрабатывать новые алюминиевые сплавы, которые должны при высокой механической прочности иметь удовлетворительные характеристики по электропроводности. Перспективы расширения рынков сбыта проводов с новыми свойствами, прежде всего в замене алюминиевых линий электропередач, выработавших свой ресурс, переводе линий электропередач на изолированные провода или провода со специальными свойствами (стойкими к погодным условиям, обледенению, условиям высокой вибрации, высокой или низкой температуре). В связи с низкой стоимостью проводов из алюминиевых сплавов по сравнению с медными также имеется перспектива замены части медных силовых кабелей на кабели с использованием проводов из новых алюминиевых сплавов.

Основными методами получения деформированных полуфабрикатов из алюминиевых сплавов являются

методы непрерывного литья-прокатки с использованием литейно-прокатных агрегатов (ЛПА) и методы совмещенной обработки с использованием операций непрерывного литья, прокатки и прессования [1–3]. Существующие литейно-прокатные комплексы не обладают всем необходимым оборудованием для получения годной продукции из алюминиевых сплавов с повышенными прочностными характеристиками в виде катанки с заданными свойствами и надежно повторяемым качеством. Поэтому при разработке технологии получения деформированных полуфабрикатов из алюминиевых сплавов с редкоземельными [4] и переходными металлами, обладающих комплексом новых физических свойств, целесообразно использование высокопроизводительных и энергосберегающих методов совмещенной обработки. Проведенные исследования, таким образом, были направлены на изучение влияния особенностей технологии получения литых и деформированных полуфабрикатов с применением этих методов на механические и электрофизические свойства образцов из сплавов системы Al–Zr, в которых в качестве основного легирующего элемента был выбран цирконий с содержанием его в сплаве в количестве 0,1–0,3 масс.%.

Для приготовления сплавов электротехнического назначения использовали цирконий в виде брикетов (80% Zr, остальное – флюс) фирмы HOESH и сплавленную лигатуру Al–Zr голландского производства фирмы KBM (рис. 1).

Для металлографического исследования сплавленной лигатуры Al–Zr были вырезаны два образца: из середины лигатурной плитки и верхней прикоррковой зоны. Макроструктуру лигатуры изучали путем визуального осмотра и с применением стереоскопического микроскопа Stemi 2000-C, Carl Zeiss.

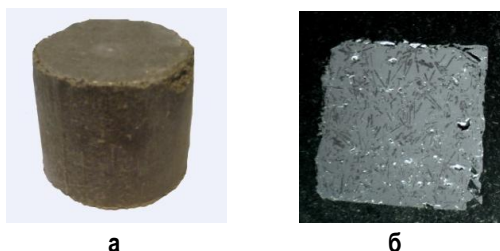


Рис. 1. Внешний вид и макроструктура цирконий содержащих лигатур Al–Zr: а – порошковая; б – сплавленная

Микроскопический анализ лигатуры проводили на микроскопе Axio Observer.A1m (Carl Zeiss). Микрошлифы изготавливали на автоматизированных шлифовально-полировальных станках Saphir 520, Germany, и расходных материалах фирмы Lam Plan, France, по методикам, предоставленным ООО «Митэла». Микрошлифы травили в растворе фтористоводородной кислоты.

Количественную оценку микроструктуры проводили с помощью программы для анализа цифровых изображений AxioVizion (Carl Zeiss) с использованием измерительных модулей Interactive Measurement (Program Wizard).

Визуальный осмотр лигатуры показал, что на поверхности наблюдается небольшое количество пор размером до 3,3 мм. На шлифах исследуемых образцов из середины лигатурной плитки наблюдаются однородно распределенные кристаллы Al_3Zr , размеры и характер распределения алюминидов различны. В образцах, вырезанных из прикоррковой зоны, структура более неоднородная, а по сечению наблюдаются более мелкие кристаллы Al_3Zr .

Микроструктура исследуемой лигатуры представляет собой твердый раствор на основе алюминия и достаточно крупные интерметаллидные частицы Al_3Zr , кристаллизовавшиеся по перитектической реакции в виде игл.

Стереометрический анализ лигатуры Al–Zr представлен в табл. 1.

Таблица 1

Результаты стереометрического анализа лигатуры Al–Zr

Количественные характеристики микроструктуры	Середина слитка	Прикоррковая зона
Средний размер частиц Al_3Zr , мкм	182×55	142×46
Минимальный размер частиц Al_3Zr , мкм	20×14	18×12
Максимальный размер частиц Al_3Zr , мкм	1454×83	753×86
Объемная доля частиц Al_3Zr , %	16,5±0,7	13,5±3,9
Средняя площадь частиц Al_3Zr , мкм ²	11 760	5 456

Приготовление новых низколегированных алюминиевых сплавов с добавками циркония осуществляли в высокочастотной плавильной установке. Предварительно просушенную лигатуру Al–Zr расчетного состава

и массы вводили под зеркало расплава, предварительно нагретого до температуры 750–900 °С. Расплавы тщательно перемешивали от 1 до 3 мин и после этого подвергали выдержке в печи в интервале 5–20 мин. Полученный сплав разливали в подогретые изложницы.

Макроструктура слитков преимущественно состоит из зоны столбчатых кристаллов, а в центре слитка наблюдаются крупные равноосные кристаллы (рис. 2).

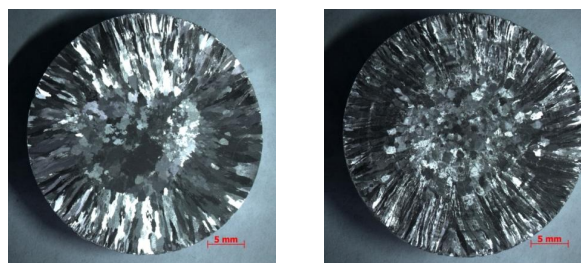


Рис. 2. Макроструктура слитков Al–Zr, полученных на порошковой лигатуре:

а – температура плавки 800±100С, время выдержки 5 мин; б – температура плавки 800±100С, время выдержки 10 мин

Далее из полученных слитков получали деформированные полуфабрикаты в виде прутков диаметром 9 мм по следующим технологическим схемам:

- горячая сортовая прокатки (ГСП) из литой заготовки размерами 14×14 мм;
- совмещенная прокатка-прессование (СПП+ЭМК) из литой заготовки диаметром 15 мм, полученной с использованием электромагнитного кристаллизатора;
- совмещенная прокатка-прессование (СПП) литой заготовки размерами 14×14 мм;
- совмещенное литье и прокатка-прессование (СЛИПП).

С целью исследования изменения механических свойств деформируемых полуфабрикатов при применении холодной деформации прутков, полученный по различным методам, подвергали волочению. При этом изготавливали проволоку диаметром 2 мм, которую затем подвергали отжигу по ступенчатому режиму.

Сортовую прокатку проводили на сортопркатном стане AMBIFILO VELOCE ROSEN с диаметром валков 130 мм, при этом литую заготовку нагревали в электрической печи до температуры 550°С, прокатывали в калибрах и получали прутки диаметром 9 мм.

Совмещенную прокатку-прессование осуществляли на экспериментальной установке совмещенной обработки, смонтированной на базе прокатного стана дуо 200 с диаметром валков 200 мм [1,4]. При этом в первом случае использовали литые заготовки, полученные в ЭМК, а во втором – заготовки, отлитые в изложницу. В соответствии с технологией обработки заготовки нагревали в электрической камерной печи до температуры 550°С и задавали их в калибр валков экспериментальной установки. К валкам с помощью гидроцилиндра была поджата матрица с калибрующим отверстием диаметром 9 мм, поэтому в качестве готового изделия получали прутки круглого сечения указанного размера.

Технологию совмещенного литья и прокатки-прессования реализовали на той же экспериментальной установке, однако в валки в этом случае заливали

расплав металла, который последовательно кристаллизовался в калибре вращающихся валков, обжимался ими и выдавливался через матрицу в виде горяче-прессованного прутка диаметром 9 мм.

Волочение проводили из полученных заготовок в виде прутков и катанки на цепном стане без промежуточных отжигов и получали проволоку диаметром 2 мм. Далее производили отжиг проволоки сначала при температуре 300°C, а затем при температуре 450°C при фиксированном времени выдержки.

Для исследований механических свойств деформируемых полуфабрикатов использовали универсальную электромеханическую машину LFM 400 усилием 400 кН. Свойства литых, деформированных и отожженных полуфабрикатов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Механические свойства и удельное электросопротивление полуфабрикатов из сплава Al-Zr

№	Метод	Механические свойства прутка диаметром 9 мм и литой заготовки		Механические свойства проволоки диаметром 2 мм в деформированном и отожженном состоянии		Удельное электросопротивление проволоки, Ом·мм ² /м
		σ_b , МПа	δ , %	σ_b , МПа	δ , %	
1	ГСП	104,9	18,8	182,9	2,3	0,0309
		68,1	34,3	66,7	21,0	0,0304
2	ГСП	105,0	17,3	186,0	1,7	0,0294
		64,1	42,2	67,4	40,0	0,0290
3	ГСП	101,4	18,6	180,8	2,0	0,0285
		61,3	21,7	64,6	33,0	0,0282
4	ГСП	100,6	19,0	187,2	2,0	0,0296
		61,8	24,1	63,5	31,0	29,19
5	ГСП	106,2	23,8	186,8	2,0	0,0301
		69,9	26,1	65,5	33,0	0,0301
6	ГСП	102,5	18,1	190,7	2,0	0,0295
		63,2	31,0	66,6	32,6	0,0292
7	ГСП	103,1	21,7	186,3	2,7	0,0310
		65,7	38,9	61,2	28,3	0,0304
8	ГСП	101,0	21,8	180,9	2,0	0,0287
		58,4	21,5	60,2	32,0	0,0287
9	СПП	127,5	18,4	227,0	2,0	0,0308
		68,1	34,3	70,0	26,0	0,0299
10	СПП	117,7	21,5	219,5	1,3	0,0288
		64,1	42,2	72,6	29,0	0,0286
11	СПП	116,6	22,0	228,6	2,2	0,0282
		61,3	21,7	76,4	31,0	0,0281
12	СПП	125,3	16,7	222,4	0,7	0,0283
		61,8	24,1	74,8	32,0	0,0272
13	СПП	120,8	15,2	226,5	1,7	0,0298
		69,9	26,1	69,1	35,0	0,0294
14	СПП	115,9	13,9	230,8	2,0	0,0294
		63,2	31,0	76,5	33,0	0,0291
15	СПП	117,5	18,5	226,1	1,9	0,0311
		65,7	38,9	81,8	34,3	0,304
16	СПП	127,4	16,6	223,2	2,0	0,0290
		58,4	21,5	75,9	37,7	0,0288
17	СПП	123,7	17,3	212,8	2,4	0,0289
		62,5	39,8	72,0	36,0	0,0284
18	СПП	125,2	16,9	217,7	2,9	0,0286
		61,40	39,5	74,7	41,0	0,0283
19	СПП	138,2	20,3	237,6	2,7	0,0297
		60,72	32,8	78,5	28,0	0,0287
20	СПП+ЭМК	135,5	20,4	215,3	3,5	0,0313
		110,5	39,4	73,2	38,2	0,305
21	СЛИПП	121,1	21,1	193,8	3,0	0,0284
				72,9	36,0	0,0275
22	СЛИПП	105,8	28,8	212,4	3,0	0,0294
				80,2	34,0	0,0282

Результаты исследования микроструктуры металла опытных образцов, полученных различными методами, приведены на рис.3–5.

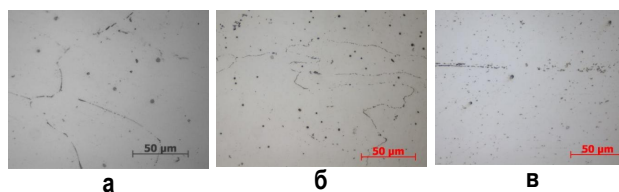


Рис. 3. Микроструктура литой заготовки (а), прутка (б) и проволоки (в) опытного образца №5, полученного методом ГСП (x500)

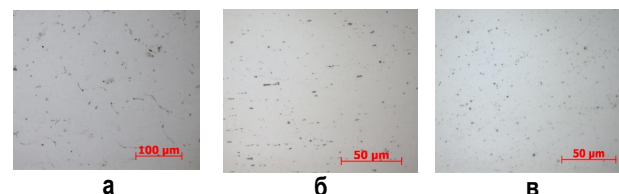


Рис. 4. Микроструктура литой заготовки (а), прутка (б) и проволоки (в) опытного образца №17, полученного методом ГСП (x500)

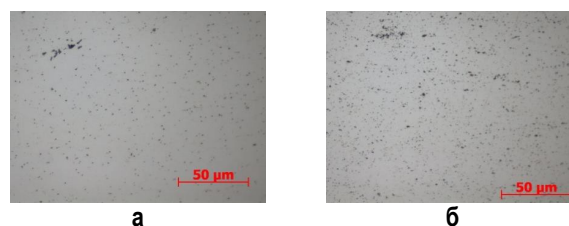


Рис. 5. Микроструктура прутка (а) и проволоки (б) опытного образца №21, полученного методом СЛИПП (x500)

Микроструктура исследуемых слитков для образцов 1-16 представляет собой дендриты α -твердого раствора, избыточные двойные и тройные фазы (рис. 3, а). Избыточные фазы расположены по границам зерен и дендритных ячеек, имеют пластинчатую, скелетную и сферическую форму. Микроструктурным методом анализа не выявлено различий в структуре сплавов исследуемых слитков. В микроструктуре сплавов системы Al-Zr обнаружены дисперсные (менее 10 мкм) включения игольчатого строения. Вследствие невысокого разрешения оптического микроскопа, выявленные фазы были детально исследованы на растровом электронном микроскопе. Форма и расположение первичных кристаллов Al_3Zr , обнаруженных в микроструктуре исследуемых слитков, свидетельствует о том, что частицы циркониевой фазы не растворились при получении расплава в исследуемом диапазоне температур. Таким образом, исследуемые температуры плавки и заливки расплава для образцов 1-16 недостаточны для растворения вводимых в виде порошковой лигатуры интерметаллидных частиц Al_3Zr , что подтверждается данными работы [5]. В слитке образца 17, который был получен при температурах плавки и заливки, рекомендуемых в работе [5] в интервале 800–900°C, по результатам микроско-

пического анализа частицы Al_3Zr не обнаружены (рис. 4, а). Результаты микрорентгеноспектрального анализа (рис. 6) также подтвердили, что в слитке образца 17 фаз, содержащих цирконий, не наблюдается. Микроструктура состоит из дендритов α -твердого раствора на основе алюминия и избыточных фаз $AlFe$ и $AlFeSi$ с присутствием в них кислорода (табл. 3).

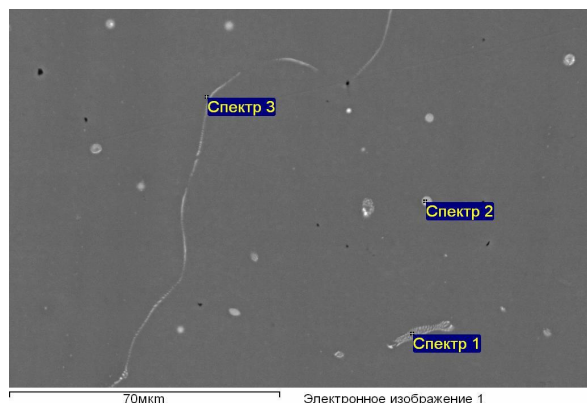


Рис. 6. Микроструктура литого образца 17 по данным микрорентгеноспектрального анализа

Таблица 3

Результаты микрорентгеноспектрального анализа для литого образца 17 из сплава Al-Zr

Спектр	O	Al	Si	Fe
Спектр 1	3.70	92.42	1.28	2.60
Спектр 2	5.95	87.41	1.16	5.48
Спектр 3	3.24	95.57	1.18	–

Металлографический анализ деформированных полуфабрикатов (образцы 1–16) в виде прутков для технологий ГСП (рис. 3, б) и СПП показал, что микроструктура всех образцов состоит из α -твердого раствора и дисперсных частиц фаз $AlFe$, $AlFeSi$ и Al_3Zr . При деформации прутков форма и размеры интерметаллидных фаз Al_3Zr существенно не изменились по сравнению со строением включений в слитках. В долевом сечении прутка наблюдается ориентированность частиц железосодержащих фаз и включений Al_3Zr в направлении оси деформации. Микроструктура деформированных полуфабрикатов, полученных СПП и сортовой прокаткой, не имеет различий. Исследования также показали, что прутки, изготовленные из литого образца 17 (рис. 4, б), сохраняют те же структурные составляющие, что и в литом состоянии, при этом фазы Al_3Zr не обнаружено.

Исследование проволоки, полученной волочением из прутков, изготовленных двумя методами: ГСП и СПП, показало, что в долевом сечении проволоки наблюдается строчечное расположение дисперсных частиц избыточных фаз, раздробленных при холодном волочении в направлении оси деформации (рис. 3, в). Волочение прутков привело к измельчению включений Al_3Zr и вытягиванию их в строчки. В проволоке, полученной из прутков после сортовой прокатки, обнаружена строчечность структуры в виде скоплений частиц Al_3Zr , которая является причиной расслоения в данном изделии. В проволоке, изготовленной из прутков после СПП, расслоений не обнаружено (рис. 4, в).

Таким образом, микроструктура полуфабрикатов, полученных по технологии совмещенной прокатки – прессования и последующего волочения, зависит от качества слитка и метода его получения. Если исходная структура слитка не содержит интерметаллидных частиц Al_3Zr , то и в деформированном состоянии их не наблюдается. Использование электромагнитного кристаллизатора позволяет уменьшить величину зерна и получить более высокие прочностные и пластические характеристики (см. табл. 2).

Структура всех образцов прутков, полученных по методу СЛИПП, характеризуется неоднородным распределением фаз по сечению алюминиевого твердого раствора (рис. 5, а). В отличие от прутков, полученных методом СПП, здесь наблюдаются более грубые скопления железосодержащих частиц и алюминидов циркония. Кроме того, в прутках обнаружены мелкие частицы Al_3Zr , чего не наблюдалось в слитках и деформированных заготовках данной плавки, полученных другими методами. Частицы алюминидов вытянуты вдоль направления деформации. Выделение некоторого количества включений Al_3Zr , по-видимому, связано с снижением температуры при переплавке сплава для СЛИПП. Холодное волочение при получении проволоки приводит к дроблению частиц Al_3Zr , в результате чего они образуют строчки из мелких частиц, близких к округлой форме, тогда как в прутках, полученных СЛИПП, большинство частиц имеет игольчатую форму. Неравномерность распределения структурных составляющих наследуется и в структуре проволоки (рис. 5, б).

Измерения микротвердости (табл. 4) деформированных полуфабрикатов, полученных различными методами, показали, что наибольшие значения микротвердости наблюдаются у изделий, полученных методом СПП. Уровень значений микротвердости для образцов, полученных методами ГСП и СЛИПП, несколько ниже. Кроме того, установлено, что с увеличением степени холодной деформации также наблюдается повышение микротвердости.

Таблица 4

Результаты измерения микротвердости деформированных полуфабрикатов Al-Zr, изготовленных различными методами, кгс/мм²

Номер образца	ГСП: пруток, проволока	Номер образца	СПП: пруток, проволока	Номер образца	СПП и СЛИПП: пруток, проволока
1	43,5±1,6 43,2±1,1	1	45,4±0,8 48,7±0,9	1	40,8±2,1 49,4±1,2
2	43,8±1,3 44,4±0,5	2	43,4±0,6 46,5±0,6	2	40,5±2,5 49,4±1,8
3	41,0±1,1 42,7±2,2	3	43,2±0,7 46,8±1,2	3	42,2±1,6 46,1±0,5
4	42,3±0,4 43,6±0,9	4	43,3±1,8 47,7±1,4	4	43,3±1,6 47,1±1,2
5	43,8±0,3 42,6±0,7	5	43,1±1,8 46,7±1,8	5	35,9±0,7 41,9±1,4
6	42,0±1,0 43,7±0,8	6	44,6±1,2 48,8±0,8	6	43,5±1,9 45,9±1,7
7	44,2±0,9 43,5±1,0	7	44,0±0,9 47,3±0,5	7	
8	43,8±0,8 43,6±1,3	8	43,1±1,6 48,3±0,7	8	

Таким образом, по результатам работы можно сделать следующие выводы:

Сплавы алюминия с содержанием циркония 0,1-0,3% могут применяться для изготовления электропроводников с повышенными механическими и электрофизическими свойствами, при этом временное сопротивление разрыву для горячедеформированных полуфабрикатов достигает максимальных значений порядка 130 МПа, для холоднодеформированных – 230 МПа, а удельное электросопротивление для них находится в диапазоне 0,0285–0,0295 Ом·мм²/м.

Разработаны режимы литья и технология приготовления новых сплавов с применением сплавленных и порошковых лигатур [6].

Повышенные прочностные характеристики наблюдаются у образцов из новых сплавов, полученных по технологиям совмещенной обработки, причем получение заготовки с применением литья в электромагнитный кристаллизатор и обработка методом СПП дает возможность получить мелкозернистую однородную структуру металла и наиболее высокие значения временного сопротивления разрыву и относительного удлинения. Однако результаты измерений на этих образцах удельного электросопротивления показали сравнительно высокие значения этого параметра.

Применение метода СЛИПП, несмотря на неоднородное распределением фаз по сечению алюминиевого твердого раствора, дает возможность получить достаточно хорошее сочетание прочностных, пластических и электрофизических характеристик.

Проведение двухступенчатого отжига проволоки, полученной холодным волочением со степенями деформации до 70%, дает возможность восстановить пластические свойства металла и снизить значения удельного электросопротивления.

Исследования проведены при реализации государственной программы поддержки развития кооперации и использования субсидий ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» и ООО «РУСАЛ ИТЦ», совместно участвующих в рамках договора

№13.G25.31.0083 с Министерством образования и науки России в выполнении комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства.

Список литературы

1. Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Загиров Н.Н. Комбинированные и совмещенные методы обработки цветных металлов и сплавов: монография. М.: МАКС Пресс, 2005. 344 с.
2. Повышение эффективности производства профилей из алюминиевых сплавов на основе управления тепловыми условиями процесса прессования / Беляев С.В., Довженко Н.Н., Сидельников С.Б. и др. // Журнал Сибирского федерального университета. 2009. №4. С. 418–426.
3. Выбор оптимальных зазоров в калибре при совмещенной прокатке-прессовании / Беляев С.В., Довженко Н.Н., Сидельников С.Б. и др. // Журнал Сибирского федерального университета. 2010. №3. С. 411–420.
4. Исследование структуры металла и оценка свойств опытных образцов из сплава системы Al–PЗМ, полученных совмещенными методами литья и обработки давлением / Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Ворошилов Д.С. и др. // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2011. №2. С. 23–28.
5. Прохоров А.Ю., Белов Н.А., Алабин А.Н. Особенности технологии плавки и литья слитков проводниковых алюминий-циркониевых сплавов в промышленных условиях // Литейщик России. 2010. №4. С. 30–34.
6. Исследование структуры и свойств литых и деформированных полуфабрикатов из сплавов системы Al–Zr, полученных совмещенными методами литья и прокатки-прессования / Падалка В.А., Довженко Н.Н., Сидельников С.Б. и др. // Литейщик России. 2011. №5. С. 33–36.

Bibliography

1. S.B. Sidelnikov, N.N. Dovzhenko, N.N. Zagirov. Combined methods of treatments of non-ferrous metals and alloys: a monograph. // M.: MAKS Press, 2005. p. 344.
2. S.V. Belyaev, N.N. Dovzhenko, S.B. Sidelnikov etc. Increase of efficiency of aluminum alloy profile production on the basis of management of thermal conditions during pressing. The Journal of Siberian State University. № 4. 2009. p.418–426.
3. S.V. Belyaev, N.N. Dovzhenko, S.B. Sidelnikov etc. The choice of optimum clearance in caliber for combined rolling-pressing process. Journal of Siberian State University. № 3. 2010. p. 411–420.
4. S.B. Sidelnikov, N.N. Dovzhenko, D.S. Voroshilov etc. The study of metal structure and assessment of the test samples properties of Al-REM alloys obtained by combined methods of casting and forming. Bulletin of the Magnitogorsk State Technical University under the name of G.I. Nosov. Magnitogorsk. 2011. № 2.
5. A.U. Prokhorov, N.A. Belov, A.N. Alabin. Technology features of melting and casting of aluminum-zirconium alloy conductors in industrial environments. Russian caster. 2010. № 4. p.30–34.
6. V.A. Padalka, N.N. Dovzhenko, S.B. Sidelnikov etc. Investigation of the structure and properties of cast and deformed semi-finished products of alloys of the Al-Zr, obtained by combined methods of casting and rolling-pressing. Foundryman of Russia. 2011. №5. p. 33–36.

МАШИНОСТРОЕНИЕ. НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ

УДК 621.771.07

Белевский Л.С., Исмагилов Р.Р.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ СЛУЖЕБНЫХ СВОЙСТВ ВАЛКОВ СТАНОВ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ

Одним из путей борьбы с наваром, возникающим при прокатке складки, может быть использование валковых материалов, обладающих «противонаварными» свойствами. Приведены результаты испытаний партии рабочих валков из стали 9Х2С2М и индифинитных чугунов на стане 1200, а также литокованных и литых валков из стали электрошлакового переплава на станах холодной прокатки 1200, 2500 и 400.

Ключевые слова: холодная прокатка, валки, складка, напряжения, электрошлаковый переплав.

One of the ways to prevent the build-up sludge during rolling of fold. Can make use new materials. The results of testing of rolls made from steel 9X2C2M and indefinite on mill 1200 and casting rolls on cold mills 1200, 2500 and 400 has been present.

Key words: cold mill, rolls, fold, stress, electroslag remelting.

Валки работают в условиях одновременного действия контактных, изгибающих, остаточных, температурных напряжений и крутящего момента. На стойкость валков большое влияние оказывают контактные напряжения. Под действием переменных контактных нагрузок в поверхностных слоях рабочих валков протекают необратимые физические процессы, которые носят локальный характер. Наряду с упругой деформацией в закаленной стали отмечается и пластическая деформация.

Неодинаковая интенсивность деформации по глубине контактной зоны создает концентрацию напряжений внутри наклепанного закаленного слоя. Это приводит к исчерпыванию пластических свойств поверхностного слоя. Продолжающееся действие внешних нагрузок способствует усталостному разрушению контактирующих поверхностей.

Дефекты и повреждение валков холодной прокатки связаны с особенностями их изготовления и эксплуатации. Поверхностные дефекты валков можно разделить на две группы: устраняемые при перешлифовке (порезы, вмятины, хвосты, небольшие навары, мелкая сетка трещин, мелкие выкрашивания и др.) и вызывающие окончательный выход валков из строя (грубые навары, отслоения, отколы, трещины, поломка бочки и шеек и др.).

Навар рабочих валков холодной прокатки является одной из причин их преждевременного списания. Навары образуются вследствие появления перед входом в зев валков складки металла, которая начинает втягиваться в очаг деформации. В этот момент резко увеличивается угол захвата, что ведет к соответствующему увеличению протяженности очага деформации и повышению удельного давления в нем. Рост удельного давления способствует выдавливанию смазки, находящейся между валком и прокатываемым металлом, и резкому повышению температуры до 1300°C в очаге деформации, из-за чего металл валка схватывается с металлом прокатываемой полосы. Одновременное действие высоких механических напря-

жений и высокой температуры в месте наvara, а также резкое падение температуры при охлаждении валка эмульсией приводят к появлению трещин на поверхности валка и «пятнистой» твердости. Сильные навары, полученные при схватывании валков прокатываемым металлом, вызывают последующие отслоения или глубокое выкрашивание, приводящее к окончательному выходу валка из строя [1, 2].

Одним из распространенных дефектов валков холодной прокатки, прошедших поверхностную закалку, являются отслоения, которые обычно наблюдаются на поверхности бочки, контактирующей с прокатываемым металлом. Обычно глубина местных отслоений и кругового скалывания бочки находится в пределах 5–25 мм. Значительная часть отслоений наблюдается в тех местах поверхности валка, в которых ранее произошел навар.

Для повышения стойкости валков и их служебных свойств возможны различные пути:

- применение валковых материалов, обладающих меньшей склонностью к наварам;
 - создание новых, более износостойких материалов и совершенствование технологии изготовления валков с целью обеспечения большей глубины закаленного слоя и его равномерной твердости;
 - применение бандажированных валков.
- Бандажированные валки на станах холодной прокатки используются в качестве опорных, хотя известны случаи применения бандажированных рабочих валков небольших размеров [3].

Основные достоинства бандажированных валков следующие:

- возможность изготавливать бандаж из особоизносостойких материалов, а ось – из высокопрочных сталей, способных выдерживать длительные циклические нагрузки;
- термическая обработка бандажа производится отдельно, что позволяет получить почти одинаковую твердость по всей толщине бандажа и снизить гради-

ент остаточных напряжений, который в сплошном валке большой массы весьма высок;

– посадочная поверхность оси перед сборкой может подвергаться дополнительной обработке с целью ее упрочнения, нанесения покрытий и др. для повышения несущей способности соединения с натягом;

– возможность замены изношенного бандажа при многократном использовании оси.

Изготовление валков из новых материалов или в бандажированном исполнении требует расчета напряжений, которым они будут подвергаться. Особенно важно знать величины напряжений в аварийных ситуациях, например при прохождении тройной складки. Следует отметить, что влияние складки на полосу исследовалось еще в 60-х годах прошлого века поляризационно-оптическим методом [4]. Использование возможностей систем компьютерной математики позволяет определить напряжения расчетным путем. В работах [5, 6] исследовано напряженное состояние рабочего и опорного бандажированных валков стана 400 холодной прокатки при прокатке складки тройной толщины.

Было рассмотрено влияние прохождения тройной складки через клетки непрерывного стана 400 холодной прокатки на напряженное состояние валков.

Для расчета определены силовые параметры прокатки ожеженного металла в четвертой клетки [5]. Входная и выходная толщина полосы $h_0=0.28$ мм, $h_1=0.2$ мм, переднее и заднее натяжение $T_0=13$ кН, $T_1=10$ кН, диаметр рабочего валка $D=200$ мм, коэффициент трения $\mu=0.07$, материал – ожеженная сталь 08кп. Закон упрочнения прокатываемого металла выразим следующей зависимостью: $\sigma_T = \sigma_{0T} + a \cdot \varepsilon^b$ [6, 7].

Для стали 08кп $\sigma_{0T}=23$, $a=3.4$, $b=0.6$. При этих коэффициентах σ_T получается в кГс/мм^2 , поэтому вычисленные значения σ_T следует переводить в Н/мм^2 . В результате решения уравнения прокатки получена эпюра контактного давления металла на валки и полное давление $P_{\text{нач}}=1.6326$ МН. Рассчитаны силовые параметры прокатки складки тройной толщины из ожеженного металла в четвертой клетки, т.е. предполагаем, что порыв полосы произошёл в третьем межклетевом промежутке.

В результате расчёта получены следующие данные: среднее давление в очаге деформации $p_{\text{ср}}=1080$ Н/мм^2 , длина дуги деформации $l=7.2146$ мм. Давление металла на валки $P_{\text{кон}}=2.343$ МН. Момент прокатки на один сплюснутый валок $M_{\text{пр}}=5440$ Н·м.

При расчёте напряжённо-деформированного состояния рабочего валка методом граничного или конечного элементов требуется иметь эпюры напряжений в месте контакта валков с металлом и с опорным валком.

Дифференциальное уравнение тонколистовой прокатки имеет вид [8]:

$$\frac{dp(x)}{dx} = \frac{d\sigma_\phi(x)}{dx} + \left(\sigma_\phi(\varepsilon_x) \pm \frac{\tau_x}{\text{tg}(\varphi_x)} \right) \frac{h'_x}{h_x}, \quad (1)$$

где $p(x)$ – удельное нормальное давление в сечении x по дуге захвата; x – текущая координата; h_x – текущее значение толщины полосы в зоне контакта металла с

рабочим валком; $\sigma_\phi(\varepsilon_x)=2\tau_s=1.15\sigma_T(\varepsilon_x)$, $\sigma_m(\varepsilon_x)$ – характеристика кривой наклепа в функции от x ; τ_x – контактные касательные напряжения в сечении x . Была реализована пятizonная эпюра напряжений $\tau(x)$. Упругое сжатие рабочих валков при определении длины дуги деформации определялось по формуле Хичкока [8].

Уравнение интегрировалось решателем (solver) **ode45** из системы компьютерной математики **MATLAB** [9]. Вызов решателя выглядит так:

p=ode45('function',[x1 x2 x3... xn],p(x1),a,b,c,R1,h1,xn,l,mu),

где **function** – аналитическая запись правой части уравнения; **[x1 x2 x3... xn]** – массив аргументов, для которых надо найти решение; **p(x1)** – начальное значение для решения; **a,b,c,R1,h1,xn,l,mu** – параметры, которые входят в правую часть уравнения.

Функция **ode45** возвращает массив **p=[p1 p2 ...pn]** решений при значениях независимой переменной **x**, взятых из массива **[x1 x2 x3... xn]**.

По формуле Герца [10] определили ширину полосы контакта $2 \cdot b_1$ рабочего и опорного валка:

$$b_1 = 1.522 \sqrt{\frac{q \cdot R \cdot R_{on}}{E(R + R_{on})}} = 2.3663 \text{ мм,}$$

где $q = P_y$ – погонное давление; $R=250$ мм – радиус опорного валка; $E=2 \cdot 10^5$ н/мм² – модуль Юнга.

Полученные данные позволяют рассчитать напряженное состояние бандажированных валков клетки кварто при экстремальных нагрузках, возникающих при прокатке тройной складки, которая может образоваться при обрыве полосы. Знание величин максимальных напряжений и характера их распределения позволяет более обосновано подходить к выбору материала валков, наименее подверженного катастрофическим повреждениям в аварийных ситуациях.

Напряжённое состояние рабочего валка, а следовательно, и бандажа, которое возникает от контактных напряжений, определено методом граничных элементов. Применительно к решению плоских задач линейной теории упругости в работе [11] метод граничных элементов доведён до готовых компьютерных программ.

На дуге контакта валка с металлом на него действуют нормальное и касательное напряжения, а в зоне контакта с опорным валком нормальное напряжение. Окружность, которая ограничивает сечение валка, неравномерно поделена на 530 дуг. Каждая дуга заменена отрезком прямой. Для тех отрезков, которые попали в зону очага деформации и зону контакта с опорным валком, определены эквивалентные нормальные и касательные напряжения. Подробно процедура перехода к эквивалентным напряжениям описана в [12].

Напряжённое состояние в той части валка, которая контактирует с металлом (очаг деформации), показано на **рис. 1, 2**.

Наибольшего значения касательные напряжения достигают на разном расстоянии от поверхности валка для зоны отставания и опережения очага деформации.

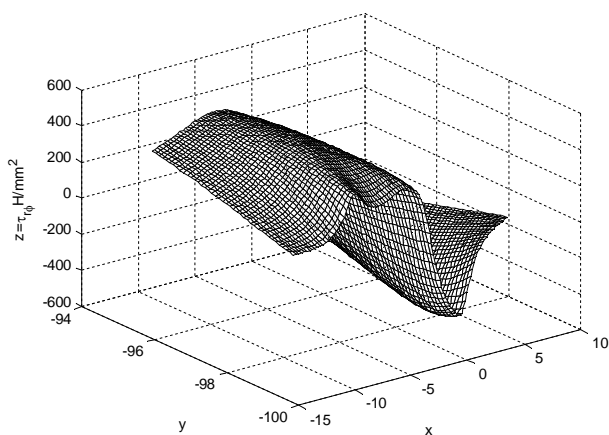


Рис. 1. Поверхность касательных напряжений в бандаже рабочего вала в зоне контакта рабочего вала с металлом

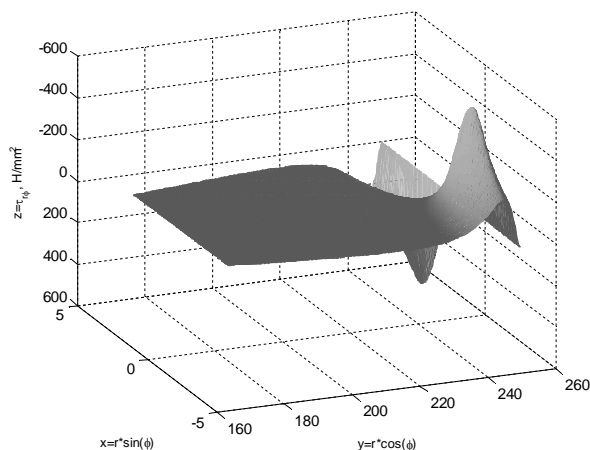


Рис. 3. Поверхность касательных напряжений в бандаже опорного вала в зоне контакта с рабочим валком $170 \leq r \leq 250$, $-2 \cdot \theta_2 \leq \phi \leq 2 \cdot \theta_2$

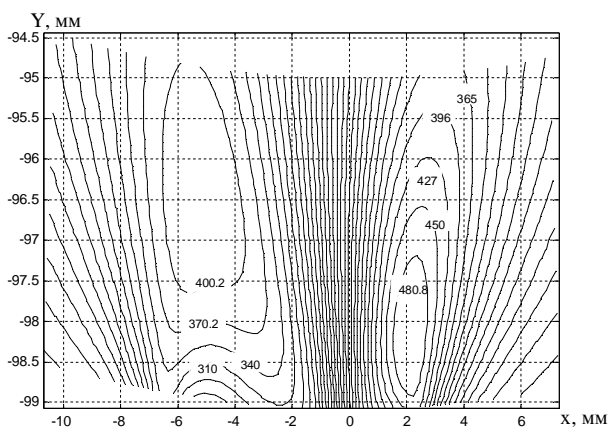


Рис. 2. Линии равного уровня абсолютных значений касательных напряжений в зоне контакта рабочего вала с металлом

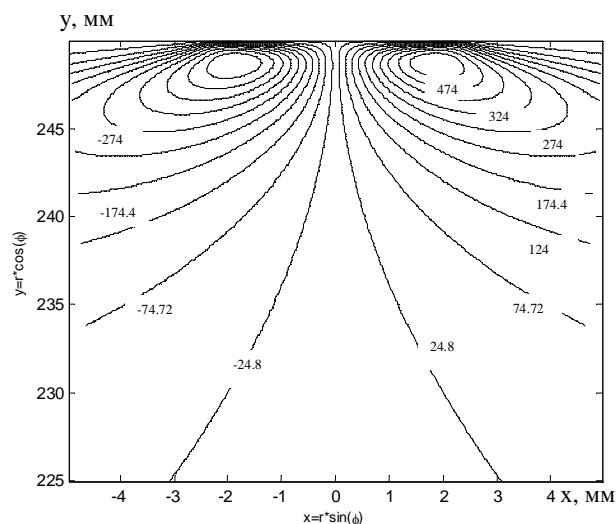


Рис. 4. Линии равных значений касательных напряжений в бандаже опорного вала в месте касания с рабочим валком: $225 \leq r \leq 250$, $-2 \cdot \theta_2 \leq \phi \leq 2 \cdot \theta_2$

Напряжённое состояние опорного вала определено по методике, изложенной в работе [13]. Эпюра контактных напряжений от действия рабочего вала на опорный представлена в виде косинусоиды, а погонное давление прокатки в 13614 Н/мм уравнивается весом опорного вала. В расчётах принято: $D_{\text{раб}}=200$ мм, $D_{\text{опор}}=500$ мм, $D_{\text{нос}}=340$ мм, $E_{\text{юнга}}=2.0 \cdot 10^5$ Н/мм², $\mu_{\text{плюсона}}=0.3$, $\delta_{\text{натяг}}=0.4$ мм. В процессе расчёта окружные и радиальные напряжения в бандаже определялись как сумма напряжений от натяга и давления прокатки. Поверхность касательных напряжений, которая показывает качественный характер изменения напряжения, приведена на рис. 3, а линии равного уровня касательных напряжений – на рис. 4. Касательные напряжения $\sigma_{\tau\theta}$ достигают максимального значения в 530 Н/мм² на глубине в 1.25 мм от поверхности опорного вала.

Точки с максимальными касательными напряжениями расположены на дуге окружности $r = 248.75$ мм.

Радиальные и окружные напряжения в опорном валке достигают максимальных значений на прямой $225 \leq r \leq 250$, $\phi=0$. Количественный и качественный характер их изменения приведён на рис. 5.

Анализ данных проведенных расчетов показывает, что напряжения, возникающие при прокатке складки тройной толщины, даже в бандажированных валках не должны приводить к их разрушению. Установлено [1, 2], что причиной появления трещин при наваре является вторичная закалка, сопровождающаяся резким увеличением объема металла в тонком слое участка поверхности бочки. Поэтому одним из путей борьбы с наваром может быть использование валковых материалов, обладающих «противонаварными» свойствами.

В России были попытки создания таких валков. Еще в 1966 г. С.А. Форисенков и С.П. Лисицын [14] предложили хромкремнемолибденовую сталь 9Х2С2М следующего состава: 0,85–0,95% С; 1,8–2,5% Cr; 1,6–2,4% Si; 0,15–0,30% Mo; 0,15–0,45% Mn; <0,30% Ni; <0,03% S; <0,03% P. За счет высокого содержания кремния повышена сопротивляемость стали к отпуску. Последнее позволило, не рискуя снизить твердость, повысить температуру отпуска валков до 300°C и более.

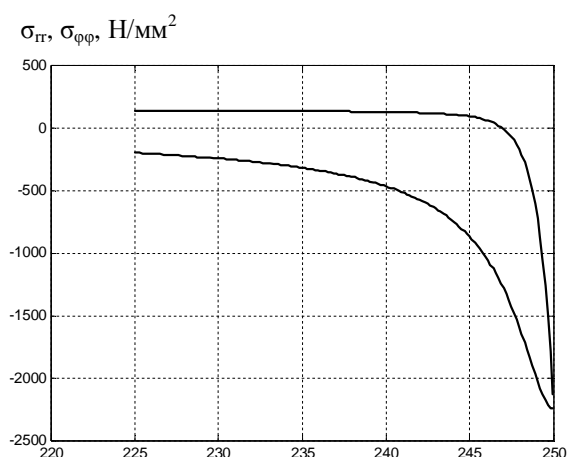


Рис. 5. Изменение нормальных (1) и окружных (2) напряжений по радиусу $225 \leq r \leq 250$, $\varphi=0$ в бандаже опорного вала

Рабочие валки из стали марки 9Х2С2М были испытаны на стане 1200 Магнитогорского металлургического комбината. Навары бочки валков были снижены на 25-30%, общее повышение стойкости валков составило 40%. Однако из-за большого брака при изготовлении кованных валков из этой марки стали их изготовление было прекращено.

В зарубежной практике широкое распространение получил метод центробежного литья в двухслойном исполнении.

В ОАО «ММК» была поставлена опытно-промышленная партия индифинитных чугунных валков размером 500×1200 для стана 1200, изготовленных таким методом. Поверхность бочки отлита из чугуна с высоким содержанием ледебурита, легированного никелем, с мелким пластинчатым графитом и отпущенной бейнитово-мартенситной матрицей; сердцевина вала состоит из чугуна со сфероидальным графитом. Валки обладают очень высокой износостойкостью и существенно увеличенной сопротивляемостью повреждениям при авариях. На рис. 6 приведена микроструктура рабочего слоя бочки валков

За время работы валков произошло шесть аварийных случаев, связанных с обрывом полосы между клетями и прокаткой складок. Но ни в одном случае наваров полосы на поверхность бочки не было.



Рис. 6. Микроструктура рабочего слоя бочки валков

Очевидно, что карбидомартенситно-бейнитная структура рабочего слоя бочки вала, большая его глубина, высокие прочностные свойства, минимальная склонность к свариванию позволяют уменьшить повреждаемость чугунных валков в аварийных ситуа-

циях, повысить износостойкость по сравнению со стальными и, как следствие, увеличить общую стойкость прокатных валков станов холодной прокатки.

Успешный опыт эксплуатации чугунных индифинитных валков на стане холодной прокатки — это один из путей улучшения их служебных свойств.

Анализ показывает, что высокая работоспособность валков определяется, прежде всего, качеством металла, из которого они изготовлены, т.е. условиями выплавки и последующей обработки. Современная электросталь, в основном используемая для изготовления валков холодной прокатки, не всегда обеспечивает необходимый уровень свойств валков. Применение методов специальной электрометаллургии (вакуумного, дугового, электрошлакового и электронно-лучевого переплавов) способствует улучшению качества валковой стали. За последние годы появилось много модификаций электрошлакового переплава (ЭШП).

Выбор в качестве заготовки для изготовления рабочих валков холодной прокатки металла ЭШП обосновывается значительными его преимуществами перед металлом электродуговой выплавки [15]. При ЭШП валковая сталь очищается от неметаллических включений в 1,5-2,5 раза больше, в основном за счет уменьшения количества сульфидов, достигаются меньшая микронеоднородность, повышенная плотность и равномерность структуры и, следовательно, равномерность свойств металла по сечению и высоте переплавленного слитка. Сталь ЭШП характеризуется меньшей дендритной неоднородностью и более равномерным распределением ликвирующих элементов.

Следует также отметить, что литая сталь ЭШП с меньшей структурной и химической неоднородностью обладает большей прокаливаемостью, имеет повышенную на 40-50% технологическую пластичность, по сравнению с обычной сталью ЭШП. Для металла ЭШП характерна тенденция к увеличению контактной выносливости, что обусловлено характером микроструктуры, степенью микронеоднородности и типом неметаллических включений.

В настоящее время на многих отечественных предприятиях металл, выплавленный в электропечи, разливается в слитки с последующим изготовлением электродов ковкой. Электроды подвергаются электрошлаковому переплаву, при котором сечение слитка ЭШП выбирается таким, чтобы при последующей ковке обеспечивался уков бочки не менее 2,5 (при традиционной технологии уков бочки не менее 3,0). При такой технологии валки получают полностью в ковном исполнении — и бочка, и шейки.

Московским вечерним металлургическим институтом, ПО «Электростальтяжмаш» и НПО «ЦНИИТМАШ» разработана технология изготовления валков в литокованом исполнении, при которой бочка остается в литом состоянии, а оттягиваются только шейки.

Партия рабочих валков холодной прокатки с литой бочкой диаметром 400 мм и коваными шейками из металла ЭШП, изготовленная на ПО «Электростальтяжмаш» при эксплуатации на непрерывном пятиклетевом стане 400×1200 ОАО «НЛМК» показала повышенную стойкость валков по сравнению с серийными коваными валками из стали открытой

выплавки в 1,4-1,6 раза. Максимальный развес слитков диаметром 420 мм составлял 2500 кг. Однако серийное внедрение этой технологии в ПО «Электростальтяжмаш» произошло только при выпуске всех валков диаметром с бочки до 250 мм с развесом слитка 800-850 кг.

Массовое применение литокованных валков осуществлено в 2005–2009 годах в ОАО «ММК» на станах «1200», «2500» и «400» холодной прокатки листа. Этому способствовали технологические разработки ООО «ЮжУралТехноТрейд», ОАО «ММК», ООО «Уральский завод нестандартного оборудования» и МГТУ им. Г.И. Носова, основанные на информации, что на некоторых предприятиях, имеющих установки ЭШП, были освоены технологии получения слитков диаметром 525 мм, длиной 4100 мм и массой до 7000 кг. Характерной особенностью этих технологий явилось применение в качестве электродов отработанных и списанных прокатных валков.

Процесс изготовления прокатных валков проводился на специализированном предприятии с корректировкой режимов ковки, предварительной термической обработки и закалки применительно к разным маркам стали [16].

Разработанные режимы термической обработки заготовок позволили получить почти одинаковые механические свойства литого и ковкого металла. Это дает возможность изготавливать валки полностью в литом исполнении. С этой целью выплавляется слиток диаметром 525 мм, длиной 3600 мм, массой 6095 кг. Подковка шеек не производится. Далее слиток проходит термическую и механическую обработку.

Технологический процесс состоит из ЭШП отработанных валков в слитки круглого сечения под размер бочки с припуском, механической и термической обработок. Этот способ разработан предприятиями ООО «ЮУТТ», ООО «УЗНО» (Уральский завод нестандартного оборудования) и ОАО «ММК». Размеры слитков ЭШП диаметром 530 мм и массой 8 000 кг, марки стали с содержанием хрома до 3,5%.

Изготовление валков в литом исполнении имеет целый ряд преимуществ перед исполнением в литокованом исполнении:

- полностью исключается дорогостоящий и трудоемкий процесс ковки шеек, в результате чего уменьшается вероятность возникновения брака ковочного происхождения;

- способ может применяться на предприятиях, не имеющих мощностей ковочного оборудования;

- шейки литых валков менее подвержены травмированию при аварийных разрушениях подшипников, т.к. литая сталь со столбчатой структурой, ориентированной в направлении максимальных напряжений, возникающих при термических ударах, имеет повышенную термостойкость, износостойкость, а также более высокую прочность и пластичность в нагретом состоянии. Это объясняется устранением хрупкого межзеренного разрушения микрообъемов стали при тепловых ударах;

- снижение общей себестоимости изготовления валков, несмотря на повышение затрат на проведение механической обработки в среднем на 17%.

В литом исполнении изготовлены партии крупногабаритных рабочих валков размерами 500×1200

(масса 2,7 тн.), 500×2500 (масса 4,97 тн.) и 500×1700 (масса 3,7 тн.), а также опорные валки 500×400 (масса 1,13 тн.) из стали марок 9Х2МФ, 60Х2СМФ и с повышенным содержанием хрома 60Х3СМФ.

Анализ данных работы валков на стане «1200» показывает, что стойкость литых валков превышает стойкость кованных на 16%. Несмотря на то, что опытные валки в 3,5 раза больше подвергались аварийным ситуациям (о чем свидетельствует процент списания валков по наварам), стойкость их также превышает стойкость кованных на 13%. Следует отметить, что ни один валок не был разрушен по литой шейке и трещину, что и предполагалось по результатам расчетов на прочность.

Аналогичные данные получены при эксплуатации рабочих валков 500×1700 на дрессировочном стане «1700» и опорных валков 500×400 на стане «400» холодной прокатки листа.

На основании изложенного можно заключить, что изготовление рабочих валков станом холодной прокатки в литом или литокованом исполнении позволяет снизить стоимость изготовления и повысить их качество.

Список литературы

1. Валки листовых станов холодной прокатки / Новиков В.Н., Белосевич В.К., Смирнов Г.В. и др. М.: Metallurgy, 1970. 336 с.
2. Надежность и долговечность валков холодной прокатки / Полухин В.П., Николаев В.А., Тылкин М.А. и др. М.: Metallurgy, 1976. 448 с.
3. Бандажированные прокатные валки и ролики МНЛЗ: монография / Белевский Л.С., Кадошников В.И., Белевская Е.Л., Москвин В.М., Исмагилов Р.Р. и др. Магнитогорск: МГТУ, 2009. 234 с.
4. Полухин П.И., Железнов Ю.Д., Полухин В.П. Тонколистовая прокатка и служба валков. М.: Metallurgy, 1967. 387 с.
5. Белевский Л.С., Исмагилов Р.Р., Москвин В.М. Влияние складки на полосу на напряжения в валках клетей кварто станов холодной прокатки // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2010. № 1. С. 46–49.
6. Белевский Л.С., Исмагилов Р.Р., Москвин В.М. Расчет напряженного состояния рабочего и опорного бандажированных валков при прокатке складки тройной толщины // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2010. № 2. С. 34–38.
7. Третьяков А.В. и др. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. М.: Metallurgy, 1964. 324 с.
8. Целиков А.И., Никитин Г.С., Рокотян С.Е. Теория продольной прокатки М.: Metallurgy, 1980. 280 с.
9. Ануфриев И.А. MatLab 5.3/6.x. – Санкт-Петербург: БХВ Петербург, 2002. 712 с.
10. Демидов С.П. Теория упругости. М.: Высш. шк., 1970. 432 с.
11. Крауч С., Старфилд М. Метод граничных элементов в механике твердых тел. М.: Мир, 1987. 328 с.
12. Кадошников В.И., Москвин В.М., Белевская Е.Л. Методика определения напряженного состояния рабочего валка методом граничных элементов // Metallurg. 2008. №10. С. 63–66.
13. Москвин В.М., Кадошников В.И., Белевская Е.Л. Напряжения в поперечной плоскости опорного валка // Производство проката. 2007. №8. С. 19–24.
14. А.с. 186697. Сталь для валков холдной прокатки / С.А. Форисенков, С.П. Лисицын.
15. Башнин Ю.А. Влияние способа выплавки на структуру и свойства стали для производства валков холодной прокатки // Сталь. 1984. №10. С. 65–69.
16. Опыт эксплуатации литых стальных рабочих валков на станах холодной прокатки листа / Белевский Л.С., Исмагилов Р.Р., Ключков О.С. и др. // Обработка сплошных и слоистых материалов: межвуз. сб. науч. тр. / под ред. М.В. Чукина. Вып. 36. Магнитогорск, 2010. С. 145–154.

Bibliography

1. Novikov V.N., Belosevich V.K., Smirnov G.V. et al. The rolls of cold sheet mill. M.: Metallurgy, 1970. 336 p.
2. Poluhin V.P., Nikolaev V.A., Tilkin M.A. and ot. The Reliability and durability of cold rolls M.: Metallurgy, 1976. 448 p.
3. Belevskiy L.S., Kadoshnikov V.I., Belevskaya E.L., Ismagilov, R.R. and ot. Tyred rolls and rollers MCCB. Magnitogorsk: MG TU, 2009. 234 p.
4. Poluhin P.I., Gelesnov J.D., Poluhin V.P. Sheet mill and the service of rolls M.: Metallurgy, 1967. 387 p.

5. Belevskiy L.S., Ismagilov, R.R., Moskvina V.M. Influence of fold on strip at stresses in rolls of four-high stand of cold sheet mill. // Vestnik of MSTU named after G.I. Nosov, 2010. №1. P. 46–49.
6. Belevskiy L.S., Ismagilov, R.R., Moskvina V.M. // Vestnik of MSTU named after G.I. Nosov, 2010. №2. P. 34–38.
7. Tretiakov A.V. and ot. Mechanical properties of metals and alloys in mechanical working. M.: Metallurgy, 1964. 324 p.
8. Zel'kov A.I., Nikitin G.S., Rokotian S.E. The theory of lengthwise rolling. M.: Metallurgy, 1980. 280 p.
9. Anufriev I.A. MatLab 5.3/6.x. B.X.B. S.-Petersburg, 2002. 712 p.
10. Demidov S.P. Elasticity Theory. M.: Higher school, 1970. 432 p.
11. Krauch C., Stapfild M. The method of boundary elements in mechanics of rigid bodies. M.: Mir, 1987. 328 p.
12. Kadoshnikov V.I., Moskvina V.M., Belevskaya E.L. The design procedure of stressed state of working roll by boundary elements method. // Metallurg, 2008. №10. P. 63–66.
13. Moskvina V.M., Kadoshnikov V.I., Belevskaya E.L. Stress in cross plane of backing roll. // The production of rolled metal, 2007. № 8. P. 19–24.
14. Phorisenkov S.A., Lisizin S.P. The steel for cold rolls. Aut cert. №186697. Bulletin of inventions, 1966, №19.
15. Bashnin Y.A. The influence of means of smelting into structure and properties of steel for production of cold rolls. // Steel. 1984. №10. P. 65–69.
16. Belevskiy L.S., Ismagilov, R.R., Klochkov O.S. and ot. The Experience of exploitation of cast steel cold rolls. Collection 36. Magnitogorsk: MGТУ, 2010. P. 145–154.

УДК 621.923:658.53

Чаплыгин Б.А., Буторин Г.И.

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ОБЩЕМАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ НОРМАТИВОВ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА РАБОТЫ, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ НА ШЛИФОВАЛЬНЫХ И ДОВОДОЧНЫХ СТАНКАХ

Предложена новая концепция разработки нормативов режимов абразивной обработки, обеспечивающих металлообрабатывающие предприятия технологическими рекомендациями во всем диапазоне возможностей оборудования, номенклатуры режущего инструмента и схем обработки. Подготовлена новая редакция Общемашиностроительных нормативов режимов резания на работы, выполняемые на шлифовальных и доводочных станках с ручным управлением и полуавтоматах. Данная редакция Общемашиностроительных нормативов максимально охватывает применяемые на практике виды и схемы обработки абразивными инструментами.

Ключевые слова: режимы резания, обшемашиностроительные нормативы, шлифовальный станок, доводочный станок, нормативная карта, схема шлифования, параметрическое соответствие.

The new concept of the development of the norms of the regimes of the abrasive working is proposed which provides the metalworking enterprises by technological recommendations in entire range of the capabilities of the equipment, the nomenclature of cutting tool and diagrams of the working. The new editorial staff of the total machine-building norms of cutting regimes for the works, carried out on polishing and finishing machines with the manual control and semiautomats is prepared. This editorial staff of total machine-building norms maximally covers the forms used in practice and abrasive tools processing diagrams.

Key words: The cutting regimes, the total machine-building norms, the grinding machine, the finishing machine, the normative card, the grinding diagram, the parametric correspondence.

Введение. На машиностроительных предприятиях доля металлорежущих станков, использующих абразивные инструменты, составляет в среднем около 25% от всего станочного парка. Зачастую эта величина значительно выше, например, на АвтоВАЗе она равна 38% [1], а на подшипниковых заводах достигает 80% [2]. Назначение режимов резания при проектировании станочных операций производится по нормативным справочникам, как правило, по обшемашиностроительным нормативам (ОМН).

Последнее издание ОМН режимов резания для работ, выполняемых на шлифовальных и доводочных станках, было осуществлено Центральным бюро нормативов по труду при НИИ труда Госкомтруда СССР в 1978 году [3], то есть более 30 лет назад. За истекший период появились новые виды абразивных инструментов, новые типы станков и новые виды технологических операций с использованием абразивных инструментов. Кроме того, к настоящему времени из-за физического износа справочников этого издания практически нет.

Отсутствие на машиностроительных предприятиях основного справочного материала по нормированию станочных работ, проектированию технологических процессов, оценке трудоёмкости и себестоимости обработки приводит к тому, что расчеты заменяются субъективными решениями мастеров и технологов (и целиком зависят от их квалификации).

Следствием этого является необоснованное снижение производительности на операциях абразивной обработки, увеличение их себестоимости, в том числе и за счет неправильной эксплуатации инструмента, так как в нормативах рекомендовались наиболее эффективные режимы эксплуатации каждого вида инструмента.

Учитывая экономические потери, вызванные отсутствием нормативов по режимам резания, подготовка новой редакции нормативов является актуальной задачей.

Цель работы – разработка нормативов режимов абразивной обработки, обеспечивающих металлообрабатывающие предприятия технологическими рекомендациями во всем диапазоне возможностей оборудования, номенклатуры режущего инструмента и схем обработки, то есть подготовка новой редакции Общемашиностроительных нормативов режимов резания на работы, выполняемые на шлифовальных и доводочных станках.

Концепция и задачи нормативов режимов резания. Нормативы режимов резания помимо определения трудоёмкости изготовления детали, что является основной задачей, должны решать еще две не менее важные [4]:

а) давать информацию по эффективной организации технологии обработки (способ установки, распределение припуска, режимы резания и т. д.);

б) определять область наиболее эффективного использования режущего инструмента (например, иметь рекомендации по выбору характеристики шлифовального круга).

Современное состояние науки о процессах резания не позволяет расчетным путем определять рациональные режимы резания и параметры режущего инструмента. Поэтому ОМН режимов резания традиционно строятся на базе опыта передовых машиностроительных и металлообрабатывающих отраслей. Естественным следствием такой методологии является ограниченность охвата вариантов технологических наладок в справочниках ОМН. В частности, отсутствуют технологические решения, не прошедшие барьер применимости. Для технологических решений, включенных в справочник, диапазоны учитываемых параметров оказываются ограниченными рамками номенклатуры изделий базовых отраслей, взятых за основу при разработке нормативов.

Что касается параметрической ограниченности, то, например, нормативы на круглое наружное шлифование предусматривают диапазон шлифуемых диаметров до 160 мм, в то время как станки тяжелой группы (ЗМ197, ЗМ194, ЗТ160 и др.), учтенные в таблице поправочных коэффициентов на жесткость станка, допускают обработку деталей диаметром до 450 мм [5]. Таким образом, для диаметров свыше 160 мм, которые могут обрабатываться на предусмотренных в справочнике станках, нормативы рекомендаций не дают.

Для подобных ситуаций ОМН рекомендуют подбирать режимы экспериментально при отработке наладочной партии деталей в процессе технологической подготовки производства. Для автоматизированного оборудования, которое работает в строгом соответствии с наладкой, существуют даже нормативы на объем наладочной партии и время ее обработки [6].

В условиях серийного производства на отработку технологии и, в частности, на экспериментальный подбор режимов резания, времени практически нет. Наиболее рациональным способом решения этой проблемы является перенесение ее решения на нормативные справочники. Как правило, портфель заказов машиностроительного предприятия формируется, исходя из возможностей имеющегося станочного парка и инструментального хозяйства. Поэтому в условиях современного динамичного многономенклатурного машиностроительного производства нормативы режимов резания, и в первую очередь Общемашиностроительные, приобретают новое назначение – **обеспечить металлообрабатывающие предприятия надежными технологическими рекомендациями во всем диапазоне возможностей оборудования, номенклатуры режущего инструмента и схем обработки.**

Изменившееся назначение нормативных справочников обуславливает и новую концепцию их разработки: максимальный охват возможных схем технологических наладок, а также обязательное параметрическое соответствие существующему оборудованию и номенклатуре режущего инструмента.

Новая концепция требует существенной переработки нормативных справочников. При этом пред-

ставляется целесообразным одновременно устранить и недоработки в методическом обеспечении существующих нормативов. В итоге формулируются следующие направления совершенствования ОМН.

1. Обязательное обеспечение адекватного параметрического соответствия диапазонов учитываемых параметров (размеров обрабатываемых поверхностей, размеров рабочего пространства станков, технологических параметров режущих инструментов).

2. Максимальный охват применяемых схем обработки (технологических наладок, режущих инструментов и материалов, способов организации процесса обработки и т. д.) путем учета известных ранее и включенных появившихся новых.

3. Ликвидация недоработок в методическом обеспечении нормативов (разработать формальные алгоритмы коррекции режимов по обеспечению качества обрабатываемой поверхности, по мощности привода станка и т. д.), то есть алгоритмизация методики нормирования.

4. Доработка нормативных методик с целью повышения их адекватности реальным технологическим процессам. Например, шлифование – процесс цикловый, следовательно, необходимы рекомендации по организации цикла шлифования.

Реализация сформулированной концепции

1. Обеспечение параметрического соответствия диапазонов учитываемых параметров и технологических условий обработки. В рамках данного направления решение этих задач нашло отражение в трех видах нормативных карт: «Частота вращения заготовки», «Скорость подачи» и «Мощность, потребляемая на резание».

Частота вращения заготовки. Зависимость частоты вращения шлифуемой заготовки от диаметра в нормативном справочнике представляет собой таблицу заданную функцию $n_d=f(D_d)$, где n_d – частота вращения, а D_d – диаметр шлифуемой заготовки. Ее можно экстраполировать от представленного в справочнике диапазона (3–160 мм) до обеспечиваемого станками (3–450 мм), воспользовавшись известными методами аппроксимации с применением регрессионного анализа. Решить задачу позволяют стандартные программные средства MathCad, MS Excel.

Проработка трех вариантов такой экстраполяции – при использовании в качестве уравнения регрессии логарифмической, экспоненциальной и степенной функций – показала, что логарифмическая зависимость не подходит для экстраполяции, так как для больших диаметров частота вращения принимает отрицательные значения. По экспоненциальной зависимости с увеличением диаметров частота вращения стремится к нулю. Более корректна – степенная зависимость. Таким образом, хотя все три уравнения с достаточной точностью описывают исходную зависимость $n_d=f(D_d)$ в диапазоне диаметров до 160 мм, на расширенном диапазоне, который превосходит исходный практически в три раза, они ведут себя по-разному. Поэтому нельзя с уверенностью сказать, что найденные по степенной зависимости значения частоты вращения заготовки достоверны. Необходимо применить гносеологический подход, который основан на выявлении физических закономерностей процесса шлифования.

В рамках проведенной работы построена математическая модель для процессов круглого шлифования, базирующаяся на учете физических закономерностей.

Шлифование – процесс теллонапряженный, и можно предположить, что зависимость $n_d=f(D_d)$ построена на критерии постоянства температуры в зоне резания, обеспечивающей отсутствие прижогов на шлифуемой поверхности. Данную температуру можно рассматривать как функцию $T=f(q, \tau)$, где q – мощность теплового источника; τ – время контакта обрабатываемой заготовки и шлифовального круга.

Время τ зависит от длины дуги L контакта и от скорости вращения детали n_d .

Для времени τ контакта заготовки со шлифовальным кругом и скорости вращения детали v имеем соответственно:

$$\tau = \frac{L}{v}, \quad (1)$$

$$L = \frac{2t(D-t)}{d+D-2t} \cdot \sqrt{\frac{d(d+D-2t)}{t(D-t)} - 1}, \quad (2)$$

где L – длина дуги контакта; d – диаметр обрабатываемой детали; D – диаметр шлифовального круга; t – глубина резания.

$$v = \frac{\pi d n_d}{1000}, \quad (3)$$

где n_d – частота вращения детали, об/мин.

Сопоставление длины дуги L и времени контакта τ показало, что при постоянном диаметре круга и неизменной глубине резания время контакта при изменении диаметра заготовки практически остается постоянным. Следовательно, по времени τ (по среднему значению) можно рассчитать частоту вращения заготовки в диапазоне диаметров 160–500 мм по формуле

$$n_d = \frac{1000 \cdot L}{\pi d \tau}. \quad (4)$$

Результаты расчетов показали, что частота вращения заготовки практически не зависит от глубины шлифования, а с увеличением диаметра круга возрастает незначительно. При увеличении диаметра круга с 300 до 1400 мм, то есть в 5 раз, число оборотов заготовки увеличивается на 30%. Из рассчитанных чисел оборотов для нормативного справочника необходимо выбрать максимальные, так как с увеличением частоты вращения уменьшается время контакта заготовки и шлифовального круга, что обеспечит отсутствие прижогов на шлифуемой поверхности.

Максимальный диаметр шлифовальных кругов прямого профиля, выпускаемых промышленностью, составляет 1400 мм [7]. Для них и проведен расчет частоты вращения заготовки.

Определение скорости подачи на расширенном диапазоне диаметров. Значения частоты вращения заготовки, рассчитанные по степенной зависимости и

по полученной аналитической модели (4), отличаются друг от друга несущественно. Поэтому для определения значений подачи на расширенном диапазоне диаметров применен метод аппроксимации.

Расширение диапазона карты мощности, потребной на резание. Мощность, потребная на резание, при круглом врезном шлифовании определяется по следующей формуле [8]:

$$N = C_N \cdot V_3^r \cdot S_{об}^y \cdot d^q \cdot b, \quad (5)$$

где N – мощность шлифования, кВт; $C_N=0,14$ – поправочный коэффициент; V_3 – скорость вращения заготовки, м/мин; $S_{об}$ – поперечная подача на оборот, мм/об; d – диаметр заготовки, мм; b – высота круга, мм; $r=0,8$, $y=0,8$, $q=0,2$ – показатели степени.

Анализ карты мощности, потребной на резание, для круглого врезного шлифования [8] показал, что мощность пропорциональна длине шлифования. Поэтому можно предположить, что при неизменных материале, диаметре заготовки и минутной поперечной подаче удельная мощность шлифования будет постоянной. Расчеты показали, что удельная мощность практически постоянна для фиксированных значений диаметра заготовки, ее материала и минутной поперечной подачи (погрешность не превышает 5%). Таким образом, нормативную карту мощности шлифования можно привести к более простому виду, где длина шлифования отсутствует как входной параметр, а определяется удельная мощность.

Значения удельной мощности для диаметров свыше 160 мм можно рассчитать по формуле

$$N_{уд} = C_N \cdot V_3^r \cdot S_{об}^y \cdot d^q, \quad (6)$$

где $N_{уд}$ – удельная мощность шлифования, кВт/мм.

Так как в нормативах входными параметрами являются не скорость вращения заготовки и подача на оборот, а частота вращения и минутная подача, то формулу (6) целесообразно преобразовать следующим образом:

$$N_{уд} = 0,14 \cdot \left(\frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \right)^{0,8} \cdot \left(\frac{S_{тм}}{n} \right)^{0,8} \cdot d^{0,2}, \quad (7)$$

где $S_{тм}$ – минутная поперечная подача, мм/мин.

Упростив данную формулу, получим окончательное выражение

$$N_{уд} = 0,14 \cdot \left(\frac{\pi}{1000} \right)^{0,8} \cdot S_{тм}^{0,8} \cdot d. \quad (8)$$

По этой формуле и произведены расчеты удельной мощности шлифования.

2. Новые виды обработки, включенные в сборник нормативов. Из всего многообразия форм деталей доля шлифуемых наружных цилиндрических поверхностей, открытых с обеих сторон, составляет незначительную часть, остальные детали (ступенчатые валы, наружные поверхности втулок и т.п.) кроме шеек имеют еще и шлифуемые торцы.

В ОМН издания 1978 г. [3] режимы шлифования торцов даны при обработке на круглошлифовальных и внутришлифовальных станках торцом круга.

Совместное шлифование цилиндров и торцов нормативами не предусмотрено. В некоторой степени этот недостаток компенсируется тем, что для круглого наружного шлифования с осевой и радиальной подачей приведены поправочные коэффициенты, учитывающие случаи, когда при шлифовании шейки вала одновременно обрабатываются галтели (при радиальной подаче) или галтели и торцы (при осевой подаче).

На практике совместное шлифование шеек и торцов ступенчатых валов (и других подобных деталей) по одной из многих наладок находит широкое применение.

В итоге в новый нормативный справочник включены дополнительно перечисленные ниже схемы шлифования торцов и цилиндров (порознь и совместно).

Три разновидности шлифования торцов на круглошлифовальных станках:

- торцом круга прямого профиля с радиальной подачей;
- торцом круга прямого профиля с поднутрением с осевой подачей;
- торцом круга прямого профиля с поднутрением с радиальной подачей.

Три разновидности шлифования на торце-круглошлифовальных станках:

- цилиндра и торца (совместно) с угловой подачей;
- торцов с радиальной подачей;
- торцов с осевой подачей.

Кроме того, новая редакция нормативов дополнена еще следующими видами обработки.

Шлифование зубьев червячными кругами.

Плоское шлифование дисков на двухсторонних торцешлифовальных станках кругами с внутренним подводом СОЖ.

Алмазное хонингование отверстий.

Ленточное шлифование.

Две разновидности профильного шлифования, включающие 21 технологическую наладку:

а) На плоскошлифовальных станках – 14 наладок:

- шлифование уступов и элементов профиля «Ласточкина хвост» одной стороной профилированного круга;
- шлифование периферией непрофилированного круга при установке детали в синусных приспособлениях;
- шлифование многогранников;
- шлифование выпуклых радиусных поверхностей торцом непрофилированного круга;
- шлифование выпуклых радиусных поверхностей периферией непрофилированного круга;
- шлифование криволинейных поверхностей по копиру периферией непрофилированного круга;
- шлифование выпуклых криволинейных поверхностей по копиру торцом непрофилированного круга;
- шлифование криволинейных поверхностей по копиру периферией профилированного круга;
- шлифование криволинейных поверхностей по копиру торцом профилированного круга;

- шлифование сложных профилей периферией профилированного круга;

- шлифование выпуклых и вогнутых радиусных поверхностей периферией профилированного круга;

- шлифование угловых канавок профилированным кругом;

- шлифование пазов с радиусами периферией профилированного круга;

- шлифование фасок профилированным шлифовальным кругом.

б) На кругло- и резбошлифовальных станках – 7 наладок:

- шлифование криволинейных поверхностей по копиру периферией непрофилированного круга;

- шлифование криволинейных поверхностей по копиру периферией профилированного круга;

- шлифование выпуклых и вогнутых радиусных поверхностей периферией профилированного круга;

- шлифование угловых канавок периферией профилированного круга;

- шлифование сложных профильных деталей периферией профилированного круга;

- шлифование прямоугольных канавок профилированным кругом;

- шлифование прямых и наклонных торцовых поверхностей торцом профилированного круга.

Поскольку составные конструкции, в частности покрытия, находят все большее применение, в ОМН включен раздел по шлифованию деталей с покрытием:

- круглое наружное с осевой подачей;
- плоское периферией круга на станках с прямоугольным столом.

В данном разделе представлено нормирование операций шлифования пяти видов покрытий.

1. Гальванический хром.

Напыляемые:

2. Молибден.

3. Композит карбида титана на основе никеля.

Диффузионные:

4. Азотирование.

5. Борирование.

Обработка на указанных станках предусмотрена нормативами по многоступенчатому циклу.

Таким образом, количество видов абразивной обработки в справочнике увеличилось в 1,6 раза.

3. Алгоритмизация методики нормирования.

Анализ нормативов режимов шлифования [3] показал, что реализованная в них нормативная методика имеет два алгоритмических разрыва: при проверке и коррекции режимов по прижогу, а также при проверке и коррекции режимов по мощности станка. Нормативная методика предусматривает проверку соответствия расчетной удельной мощности шлифования и предельного табличного значения бесприжоговой мощности. При невыполнении условия рекомендуется скорректировать режимы. Но при этом не указан порядок коррекции. Предполагается, что коррекция делается на основании опыта технолога, то есть носит субъективный характер, и поэтому вполне возможно, что скорректированная наладка вновь не обеспечит качество по прижогу и потребует вторичная коррекция.

Для объективного назначения эффективных режимов шлифования, гарантирующих отсутствие прижогов, нормативная методика дополнена алгоритмом коррекции. Базу алгоритма составляют факторы управления. Управление удельной мощностью шлифования осуществимо тремя факторами: радиальной подачей, скоростью заготовки и твердостью шлифовального круга. Анализ механизма и степени влияния этих факторов на показатели процесса шлифования позволил сформировать два варианта рекомендуемого порядка коррекции факторов управления:

- 1) (смена круга возможна) увеличение скорости заготовки \Rightarrow снижение твердости круга \Rightarrow снижение подачи;
- 2) (смена круга неприемлема) увеличение скорости заготовки \Rightarrow снижение подачи.

Анализ нормативных карт показывает, что точность задания скорости заготовки составляет 1 м/мин, для подачи точность задания значений – 0,01 м/мин. Эти значения можно принять за шаг изменения управляющих факторов в разрабатываемом алгоритме. Снижение твердости круга осуществляется на 1 степень.

Что касается скорости заготовки, то соседние значения скоростей существенно отличаются друг от друга (до 50%). Это позволяет лишь довольно грубо определить предельную удельную мощность. Для более точного определения минимального значения предельной бесприжоговой мощности во избежание излишнего завышения скорости заготовки необходимо прибегнуть к интерполяции. Это позволяет вычислить промежуточные значения мощности, зная граничные значения скорости заготовки. Такая задача решается, например, с помощью полинома Лагранжа.

С учетом вышесказанного разработан формальный алгоритм трехуровневой коррекции режимов шлифования для бесприжоговой обработки при обеспечении минимальной потери производительности по сравнению с вариантом, предусмотренным ОМН [3].

4. Доработка нормативных методик с целью повышения их адекватности реальным технологическим процессам. Передовые предприятия, например АвтоВАЗ, уже давно в своих технологических процессах описывают и регламентируют циклы шлифования. Пока в картах наладки задаются простейшие циклы – двух- и трехэтапные. Поэтому в разработанном нормативном справочнике сделан первый шаг в этом направлении – предусмотрены двухступенчатые циклы. Цикл заложен типовой: 80% времени – этап съема припуска, 20% – выхаживание. Характеристика шлифовального круга и скорости круга и детали задаются в целом на операцию, а подача (радиальная) задана для первого этапа. Для второго этапа она равна нулю, и нормативы регламентируют время этого этапа. При таком подходе нормативный справочник не только позволяет пронормировать операцию шлифования, но и дает технологические рекомендации по организации цикла шлифования в зависимости от свойств обрабатываемой детали и предъявляемых требований.

Кроме рассмотренных направлений совершенствования ОМН, определяющих качество нормативов с содержательной стороны, необходимо отметить

направления, определяющие качество представления нормативных материалов.

Анализ нормативных карт ОМН 1978 г. [3] показал, что для них характерна большая неравномерность по точности определения искомого параметра. В зависимости от места в таблице, где находится определяемый параметр, погрешность достигает 33% по горизонтали и 60% по вертикали. Если учесть, что невозможно прогнозировать, в какое место таблицы при ее чтении мы попадем, то трудно говорить о какой-либо гарантированной точности определения режимов по таким нормативам.

Для обеспечения гарантированной равномерной точности по всему полю таблиц предлагается использовать **равноточные последовательности** для задания значений нормируемых параметров:

$$a_{n+1} = a_0 (1+q)^n.$$

Эта последовательность, являясь геометрической прогрессией, обладает интересным свойством – каждый ее последующий член отличается от предыдущего на $q \cdot 100$ процентов. При $q=0,05$ имеем 5%-ную последовательность, при $q=0,1$ – 10%-ную, т.е. соседние члены последовательности отличаются друг от друга на 10% и, следовательно, погрешность при использовании этой последовательности в таблице не превысит 10%. Учитывая особенности десятичной системы счисления, целесообразнее q не задавать, а находить из выражения $q = 10^{1/n} - 1$ для целых n . Для $n=10$ получим $q=0,25$, для $n=20$ – $q=0,12$, для $n=40$ – $q=0,06$. Видно, что наблюдается полная аналогия с десятичными рядами предпочтительных чисел R10, R20 и R40 со знаменателями ϕ соответственно 1,25; 1,12 и 1,06. Таким образом, десятичные ряды предпочтительных чисел представляют собой равноточные последовательности и поэтому могут быть рекомендованы для формирования нормативных таблиц с равномерной гарантированной точностью.

Заполнять таблицу предлагается в обратном порядке: на диапазон значений нормируемого (искомого) параметра, который описывается в таблице, накладывается равноточный ряд его значений – для каждого значения искомого параметра определяется соответствующее ему значение исходного параметра, которое и заносится в шапку таблицы.

Для уменьшения количества поправочных коэффициентов в нормативных картах необходимо обеспечить возможность учета большего количества факторов в таблицах, которые формируют нормативную карту. Применение равноточных рядов создает для этого предпосылки. Например, поправочные коэффициенты обеспечивают пропорциональное увеличение всех табличных значений на одну величину (в процентах). При использовании равноточных рядов этот результат может быть достигнут простым сдвигом ряда вправо или влево на нужное количество позиций.

Применение равноточных рядов позволяет ввести новый объект для представления нормативных карт – таблицы-номограммы. Эти таблицы позволяют практически неограниченно увеличивать число читающих переменных (реально – до 10) и сокращать в итоге цепочку таблиц поправочных коэффициентов

Дополнительным средством уменьшения количества поправочных коэффициентов, но не менее эффективным, является применение умолчаний. Например, твердость обрабатываемых материалов после термической обработки принимает ряд типовых значений. Поэтому целесообразно для каждой группы обрабатываемых материалов взять за базу типовое, наиболее вероятное значение твердости и нормативную таблицу рассчитать для этого значения. Тогда поправка на твердость будет необходима только в нестандартной ситуации, т.е. этот коэффициент большей частью будет невостребованным. В итоге предлагается следующая иерархия нормативных таблиц:

– первый уровень: основная нормативная карта, которая учитывает главные факторы, причем некоторые по умолчанию;

– второй уровень: основной поправочный коэффициент – по наладке (погрешность заготовки, точность детали, ее вылет);

– третий уровень: дополнительный поправочный коэффициент – по измененной твердости обрабатываемого материала.

Первый уровень нормативных рекомендаций – основной. Второй уровень иногда может быть опущен, например при жестких деталях и грубых, неточных работах. Третий уровень используется лишь в случае нестандартной ситуации.

Наличие такой иерархии нормативных таблиц помимо сокращения трудоемкости способствует еще и повышению точности нормирования.

Применение такой методологии позволит создать нормативный справочник нового поколения, обеспечивающий заданную точность нормирования и сокращающий трудоемкость нормирования до 50%.

Заключение. В соответствии с предложенной новой концепцией подготовлена новая редакция Общемашиностроительных нормативов режимов резания на работы, выполняемые на шлифовальных и доводочных станках с ручным управлением и полуавтоматах.

Наиболее значимым отличием разработанной редакции нормативов от предыдущей (1978 г.) является то, что в ней максимально охвачены применяемые на практике виды и схемы обработки абразивными ин-

струментами. В результате количество видов абразивной обработки увеличилось в 1,6 раз, а видов технологических наладок (количество карт нормирования) в 2 раза. При этом обеспечено адекватное параметрическое соответствие диапазонов учитываемых параметров (размеров обрабатываемых поверхностей, размеров рабочего пространства станков, технологических размеров режущих инструментов).

Список литературы

1. Ивашинников В.Т. Прогрессивное шлифование: В помощь заводам-потребителям продукции Челябин. абразивного з-да / под ред. П.В. Переверзева. Челябинск : Юж.-Урал. кн. изд-во, 1976. 327 с.
2. Корчак С.Н. Производительность шлифования стальных деталей. М. : Машиностроение, 1976. 283 с.
3. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Ч. 3. Протяжные, шлифовальные и доводочные станки. Изд. 3-е. М. : ЦБНТ, 1978. 360 с.
4. Чаплыгин Б.А., Буторин Г.И., Кошин А.А. Концепция и задачи нормативов режимов резания для условий современного машиностроительного производства // Инструмент и технология. 2003. № 9–10. С. 62–73.
5. Металлорежущие станки 1997–1998 гг. : номенклатурный каталог / сост. В.Н. Ярмушевская, Г.Г. Егорова. М. : ИКФ «Каталог», 1997. 106 с.
6. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания на токарно-автоматные работы. М. : Машиностроение, 1989. 299 с.
7. Абразивные материалы и инструменты: каталог-справочник / под ред. В.А. Рыбакова. М. : НИИИМ, 1976. 390 с.
8. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 2 / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 1985. 496 с.

Bibliography

1. Ivashinnikov V.T. Progressive grinding: To help to the consumer plants of the production Chelyabinsk abrasive plant / Edited by P.V. Pereverzev/ Chelyabinsk, South Ural book publishing house, 1976. 327 p.
2. Korchuk S.N. Productivity of the grinding of the steel components / M.: Machine building, 1976. 283 p.
3. Total machine-building norms of cutting regimes of for the technical rate setting of works on the machine tools. Chapter 3. Drawn-out, polishing and finishing machines. The publication 3. M. SSTL, 1978. 360 p.
4. Chaplygin B.A., Bytorin G.I., Koshin A.A. Concept and tasks of the norms of cutting regimes for the conditions of contemporary machine-building production // Tool and technology. 2033. № 9, 10. Pp. 62–73.
5. Machine tools 1997–1998 years: Standardly designated catalog / Compilers V.N. Yarmushevskaya, G.G. Egorova. M.: IKF «Katalog» 1997. 106 p.
6. Total machine-building norms of time and cutting regimes for the turning-automatic works. M.: Mashine building, 1989. 299 p.
7. Abrasives and the tools: Catalog-handbook / Edited by V.A. Rybakov. M.: the Scientific Research Institute of machine building, 1976. 390 p.
8. Reference book of the technologist-machine builder. In 2 volumes. V. 2 / Edited by A.G. Kosilova and R.K. Mescheryakov. 4 publication, reworked and supplemented. M.: Mashine building, 1985. 496 p.

ЭНЕРГЕТИКА МЕТАЛЛУРГИИ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

УДК 621.313.333.2:519.711.2

Омельченко Е.Я., Агапитов Е.Б., Моисеев В.О.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Разработана 4-массовая термодинамическая математическая модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и самовентиляцией, методика расчета коэффициентов теплопередачи между отдельными массами модели. Проведены исследования работы модели, выполненной в программе MATLAB.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, термодинамическая модель, методика расчета.

Developed a 4-mass thermodynamic mathematical model of induction motor with squirrel cage rotor and self venting. A method for calculating heat transfer coefficients between the individual masses of the model. The studies of the model, made in the program MATLAB.

Key words: induction motor, thermodynamic model, method for calculating.

Температура обмоток, магнитопровода и элементов двигателей является ограничивающим фактором при их эксплуатации. Известны двухмассовые [1], трехмассовые [2] термодинамические модели двигателей, позволяющие рассчитывать температуру обмоток и элементов двигателя при различных механических нагрузках и скоростных режимах. Для уточненной проверки элементов двигателя по нагреву, исследованию нестационарных тепловых процессов, учитывая реальное распределение температур и тепловых потоков, предлагается четырехмассовая термодинамическая математическая модель закрытого асинхронного двигателя, которая, в свою очередь, может быть использована в более сложных моделях, например в статической математической модели электропривода.

Каждая выделенная масса представляется однородным телом со своей теплоемкостью и бесконечно большой внутренней теплопроводностью с равномерным распределением температуры по всему объему:

1. Корпус, вал двигателя и магнитопровод статора.

Материал – чугунное или алюминиевое литье и электротехническая сталь. Внутренняя теплогенерация определяется механическими потерями, потерями в стали статора и зависит от скоростного режима работы и способа управления напряжением статорной обмотки. Теплоотдача в виде конвекции и теплопередачи направлена в окружающую среду, зависит от температуры окружающей среды, внешней поверхности и способа охлаждения двигателя. Теплоприем в виде теплопередачи направлен к магнитопроводу от обмотки статора и от магнитопровода ротора к валу и корпусу двигателя.

2. *Обмотка статора.* Материал – медь. Внутренняя теплогенерация определяется электрическими потерями, зависит от тока статора и температуры обмотки. Теплоотдача в виде теплопередачи направлена от обмотки к магнитопроводу и теплоприем в виде конвекции и теплопередачи от обмотки ротора к обмотке статора.

3. *Обмотка ротора.* Материал – медь или алюминий. Внутренняя теплогенерация определяется электрическими потерями, зависит от тока ротора и

температуры обмотки. Теплоотдача в виде теплопередачи направлена от обмотки к магнитопроводу и в виде конвекции и теплопередачи направлена от обмотки ротора к обмотке статора.

4. *Магнитопровод ротора.* Материал – электротехническая сталь. Внутренняя теплогенерация определяется дополнительными потерями и потерями в стали ротора, зависит от просадки скорости. Теплоприем в виде теплопередачи направлен к магнитопроводу от обмотки ротора, а теплоотдача в виде теплопередачи направлена от магнитопровода к валу и корпусу двигателя.

Принимаются допущения:

– мощность теплового потока от корпуса двигателя (первая тепловая масса) в окружающую среду пропорциональна разности температур в первой степени и остальных массы для двигателя закрытого исполнения с окружающей средой никак не связаны;

– мощность теплового потока от одной массы к другой пропорциональна разности температур в первой степени.

При этих условиях и допущениях разработана схема тепловых потоков (рис. 1), в которой выделены потоки внутренней теплогенерации (светлые стрелки) и потоки теплопереноса между массами (темные стрелки). В соответствии со схемой тепловых потоков система дифференциальных уравнений теплового баланса четырехмассовой тепловой модели закрытого асинхронного двигателя может быть представлена в виде:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\Theta_1}{dt} &= (\Delta P_{1C} + \Delta P_{MEX} - A_{10}(\Theta_1 - \Theta_0) + \\ &+ A_{21}(\Theta_2 - \Theta_1) + A_{41}(\Theta_4 - \Theta_1)) / C_1; \\ \frac{d\Theta_2}{dt} &= (\Delta P_{1M} - A_{21}(\Theta_2 - \Theta_1) + A_{32}(\Theta_3 - \Theta_2)) / C_2; \\ \frac{d\Theta_3}{dt} &= (\Delta P_{2M} - A_{32}(\Theta_3 - \Theta_2) - A_{34}(\Theta_3 - \Theta_4)) / C_3; \\ \frac{d\Theta_4}{dt} &= (\Delta P_{2C} + \Delta P_0 + A_{34}(\Theta_3 - \Theta_4) - A_{41}(\Theta_4 - \Theta_1)) / C_4 \end{aligned} \right\} (1)$$

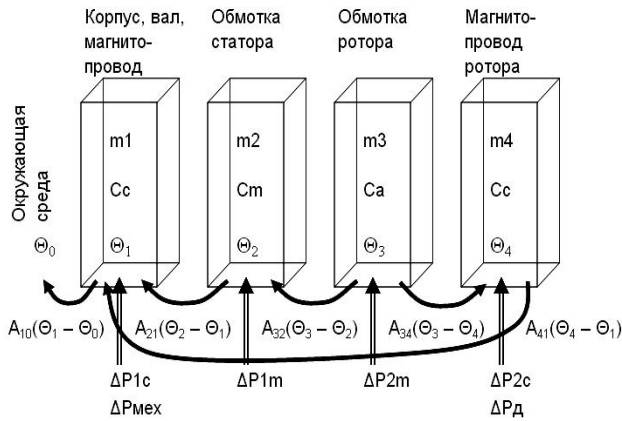


Рис. 1. Схема тепловых потоков АД с самовентиляцией

В уравнениях (1): Θ_i и C_i – температура и теплоемкость i массы; A_{ij} – коэффициент теплопередачи от i массы к j массе; A_{10} – коэффициент теплоотдачи от первой массы (корпус двигателя) в окружающую среду; Θ_0 – температура окружающей среды. Теплоемкость i элемента тепловой модели определяется его удельной теплоемкостью и массой $C_i = c_i m_i$. Суммарная теплоемкость двигателя равна сумме i теплоемкостей.

Решение системы дифференциальных уравнений (1) представляется в виде системы интегральных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \Theta_1 &= \frac{1}{C_1} \int (\Delta P_{1c} + \Delta P_M - \Theta_1(A_{10} + A_{21} + A_{41}) + \Theta_0 A_{10} + \Theta_2 A_{21} + \Theta_4 A_{41}) dt + \Theta_0; \\ \Theta_2 &= \frac{1}{C_2} \int (\Delta P_{1m} - \Theta_2(A_{21} + A_{32}) + \Theta_1 A_{21} + \Theta_3 A_{32}) dt + \Theta_0; \\ \Theta_3 &= \frac{1}{C_3} \int (\Delta P_{2m} - \Theta_3(A_{32} + A_{34}) + \Theta_2 A_{32} + \Theta_4 A_{34}) dt + \Theta_0; \\ \Theta_4 &= \frac{1}{C_4} \int (\Delta P_{2c} + \Delta P_d - \Theta_4(A_{34} + A_{41}) + \Theta_3 A_{34} + \Theta_1 A_{41}) dt + \Theta_0. \end{aligned} \right\} (2)$$

В соответствии с системой уравнений (2) разработана структурная схема математической тепловой модели АД (рис. 2), в которой входными переменными в качестве тепловых потоков внутренней теплогенерации выступают потери АД, а выходными переменными являются температуры выделенных масс. Начальные значения интегрирующих звеньев задаются равными температуре окружающей среды Θ_0 (пуск холодного двигателя) или другими значениями, определяемыми задачей исследования.

Система уравнений (1) включает в себя 4 уравнения теплового баланса, по которым необходимо рассчитать 5 коэффициентов теплопередачи. Для установившегося номинального режима ($t \rightarrow \infty; d/dt \rightarrow 0$) на основании данных класса обмоток по температуре, опыта работы и номинальных данных достаточно задать установившимися значениями температур каждой массы Θ_{iy} , и определить рациональное соотношение между двумя коэффициентами теплопередачи. В связи с этим формулы расчета коэффициентов теплопередачи принимают вид:

$$\left. \begin{aligned} A_{10} &= \Delta P_{\Sigma} / (\Theta_{1Y} - \Theta_0); \\ A_{41} &= 0,1 A_{10}; \\ A_{21} &= (A_{10}(\Theta_{1Y} - \Theta_0) - A_{41}(\Theta_{4Y} - \Theta_{1Y}) - \Delta P_{1c} - \Delta P_{MEX}) / (\Theta_{2Y} - \Theta_{1Y}); \\ A_{32} &= -(\Delta P_{1m} - A_{21}(\Theta_{2Y} - \Theta_{1Y})) / (\Theta_{3Y} - \Theta_{2Y}); \\ A_{34} &= (\Delta P_{2m} - A_{32}(\Theta_{3Y} - \Theta_{2Y})) / (\Theta_{3Y} - \Theta_{4Y}). \end{aligned} \right\} (3)$$

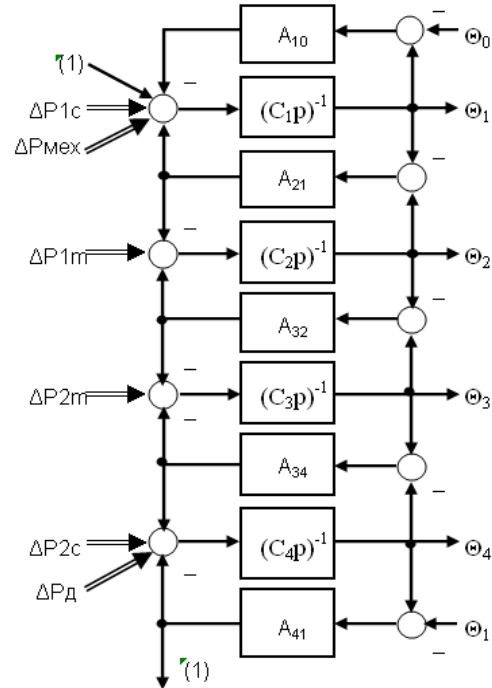


Рис. 2. Структурная схема четырехмассовой тепловой модели АД

В результате несложных преобразований структурной схемы рис. 2 в программной среде *MATLAB* разработана расчетная структурная схема тепловой модели *Тепло4ад* (рис. 3), позволяющая выполнять расчет переходных процессов температур выделенных масс АД при изменении всех составляющих потерь и температуры окружающей среды. Дополнительно в модели учитывается способ охлаждения двигателя и для сравнения моделируются переходные процессы в одномассовой тепловой модели. Звенья W_i описываются передаточной функцией аperiодического звена первого порядка $W_i = K_i / (T_i p + 1)$, в которой $p = d/dt$ – оператор дифференцирования. Значения элементов рассчитываются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} K_{11} &= 1 / A_{10}; T_{11} = C_{\Sigma} K_{11}; \\ K_1 &= (A_{10} + A_{21} + A_{41})^{-1}; T_1 = c_M m_1 K_1; \\ K_2 &= (A_{21} + A_{32})^{-1}; T_2 = c_M m_2 K_2; \\ K_3 &= (A_{23} + A_{34})^{-1}; T_3 = c_A m_3 K_3; \\ K_4 &= (A_{34} + A_{41})^{-1}; T_4 = c_M m_4 K_4. \end{aligned} \right\} (4)$$

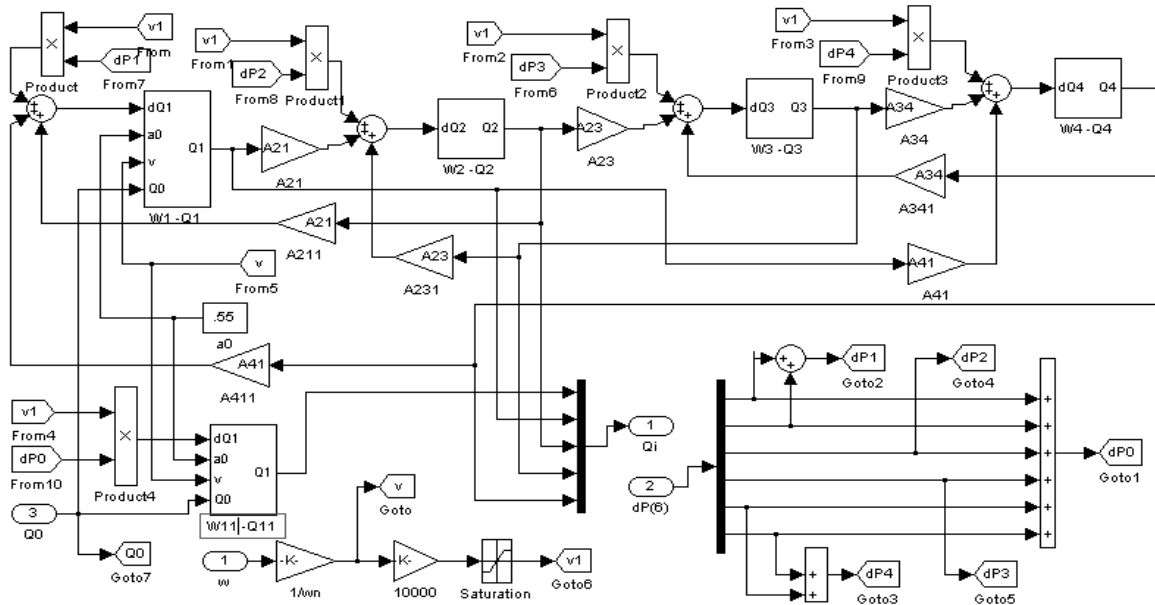


Рис. 3. Расчетная структурная схема тепловой модели *Тепло4ad*

Под индексом $i=11$ подразумевается одномассовая тепловая модель АД. В звеньях **W1-Q1** и **W0-Q11** для двигателя с самовентиляцией может быть задано изменение коэффициента теплопередачи A_{10} в функции угловой скорости вращения по уравнению

$$A_{10}(\omega) = A_{10N}(a_0 + (1 - a_0)abs(\omega / \omega_N)),$$

где a_0 – коэффициент ухудшения охлаждения [3] ($a_0=1$ для двигателей с принудительной вентиляцией, $a_0=0,3-0,55$ для двигателей с самовентиляцией).

В свернутой структурной схеме тепловой модели *Тепло4ad*, которая представлена на рис. 4, в качестве входных переменных используются составляющие потерь АД, а в качестве выходных переменных – 5-мерный массив температур перегрева.

В **таблицу** сведены результаты расчетов параметров тепловой модели для двигателя 4A160S4Y3. Расчеты выполнялись в соответствии со структурной схемой **рис. 3** и по формулам (2) и (3). Масса алюминиевой короткозамкнутой обмотки ротора принимается 50% от массы медной обмотки статора. Установившаяся температура роторной обмотки на 10°C превышает установившуюся температуру статорной обмотки.

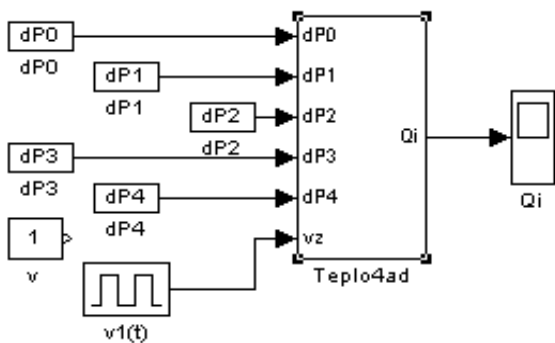


Рис. 4. Свернутая структурная схема тепловой модели *Тепло4ad*

На **рис. 5** приведены переходные процессы температур элементов тепловой модели двигателя 4A160S4Y3 при постоянных сопротивлениях статора и ротора для длительного номинального режима работы *S1* (а), повторно-кратковременного режима *S3* при ПВ=25% и времени цикла 10 мин (б) при температуре окружающей среды 40°C .

Результаты расчета коэффициентов тепловой модели

Параметр	Значения				
i	0	1	2	3	4
C_i , Дж/кг/°C		481	385	896	481
m_i , кг	135	72.072	9.92	4.96	48.048
C_i , Дж/°C	66041	34666	3819	4444	23111
Θ_i	60	60	150	160	90
ΔP_i , Вт	1790.70	610.24	800.75	362.58	7.13
T_i , мин	12.29	5.32	3.16	5.35	30.36
K_i , c°/Дж	0.01117	0.00922	0.04967	0.07222	0,07881
ij	10	21	32	34	41
A_{ij} , Дж/с/°C	89.54	10.02	10.11	3.74	8.95

Анализ переходных процессов температур перегрева показал:

- в длительном режиме работы *S1*:
 - установившиеся значения температур равны расчетным, максимальное значение 160°C соответствует обмотке ротора;
 - время переходного процесса одномассовой модели не превышает 50 мин, что составляет $4T_0$;
 - время переходного процесса первой массы доходит до 100 мин, что значительно превышает время одномассовой модели;
 - темп нагрева статорной обмотки выше, чем у роторной из-за разных постоянных времени нагрева ($T_2 < T_3$);
- в повторно-кратковременном режиме *S3*:
 - квазиустановившийся тепловой режим в одномас-

совой модели наступает после 50 мин, а в многомассовой после 100 мин;

– в одномассовой модели температура колеблется от 47.5 до 50°C;

– у первой массы (корпус двигателя) температура колеблется от 52.5 до 55°C и немного больше, чем у одномассовой модели;

– у обмотки ротора (третья масса) температура колеблется от 70 до 80°C;

– у обмотки статора (вторая масса) температура колеблется от 65 до 87°C,

нижняя температура меньше температуры обмотки ротора из-за более интенсивного охлаждения статора, а верхняя температура выше из-за большей внутренней теплогенерации;

– у магнитопровода ротора (четвертая масса) температура перегрева изменяется, как у апериодического звена второго порядка, колебания не превышают 1°C из-за низкой внутренней теплогенерации и охлаждения через другие тепловые массы.

На основании полученных результатов можно сделать **закключение**, что разработанная тепловая модель качественно и количественно верно отражает внутренние тепловые процессы, происходящие в двигателе, методика расчета параметров модели достаточно проста, и с её помощью можно выполнять исследования более сложных тепловых режимов работы АД.

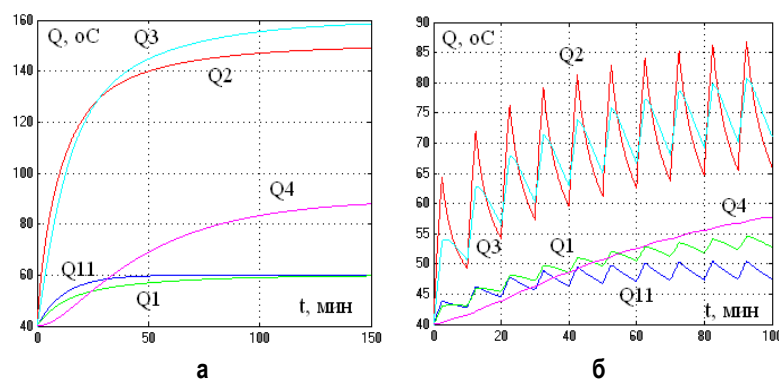


Рис.5. Переходные процессы в тепловой модели для длительного режима работы S1 (а) и повторно-кратковременного режима S3 (б)

Список литературы

1. Ключев В.И. Теория электропривода: учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1985. 560 с.
2. Шрейнер Р.Т. Электромеханические и тепловые режимы асинхронных двигателей в системах частотного управления: учеб. пособие / Р.Т.Шрейнер, А.В.Костылев, В.К.Кривовяз, С.И.Шилин. Екатеринбург: Рос. гос. проф.-пед. ун-т, 2008. 361 с.
3. Теория автоматизированного электропривода: учеб. пособие для вузов / Чиликин М.Г., Ключев В.И., Сандлер А.С. М.: Энергия, 1979. 616 с.

Bibliography

1. Kluchev V.I. Theory of electric drive: A textbook for universities. M.: Energoatomizdat, 1985. 560 p.
2. Shreiner R.T. Electromechanical and thermal conditions of induction engines in frequency control systems: a tutorial / R.T.Shreiner, A.V.Kostelev, V.K.Krivovяз, S.I.Shilin. Yekaterinburg: GOU VPO «Russian state professional-and-pedagogical university», 2008. 361 p.
3. Theory of automatic electric drive: A tutorial for universities / Chilikin M.G., Kluchev V.I., Sandler A.S. : Energy, 1979. 616 p.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 621.867

Омаров К.А., Столсповских И.Н., Кольга А.Д., Темержанов А.Т., Омарова Т.К.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ КОНВЕЙЕРНЫХ ЛИНИЙ

Приведена методика проектирования систем контроля и технической диагностики конвейерных линий.

Ключевые слова: Автоматизация проектирования, конвейер, диагностика, контроль, управление.

A method for the design of control systems and technical inspection conveyor lines.

Keywords: Computer-aided design, conveyor, diagnosis, monitoring, management.

Система автоматического контроля конвейерных систем, в условиях рыночной экономики и обеспечения высокой конкурентоспособности современного конвейерного транспорта, является принципиально новой структурой, использующей модульно-иерархический принцип.

Модульность и иерархичность, как составные элементы данного принципа, определяют самостоятельность отдельных модулей при выполнении частных решений, а также соподчиненность систем различных уровней автоматического контроля и технической диагностики, входящих в одну единую гибкую систему контроля и технической диагностики конвейерных линий. Критерием эффективности гибкой системы контроля и технической диагностики конвейерных систем является учет потерь времени отклонений контролируемого параметра с использованием информации о предыдущих управлениях и значениях контролируемого параметра, а также с учетом конкретных свойств технологического параметра [1–3].

Система автоматического контроля функционирует в качестве подсистемы, обеспечивая при этом информацией о ходе процесса для принятия решений, а также позволяет оптимизировать число контрольных операций, обладая производственными и информационными функциями. При этом решаются следующие задачи: контроль погрешности наладки узлов конвейерных систем; контроль состояния узлов механизма (износа, поломки); адаптивная подналадка; контроль выходных параметров, параметров процесса натяжения или смещения тяговых и ведомых контуров конвейерных систем и их адаптации; сбор данных о результатах контроля и диагностирования; накопление статистической информации по данным контроля; подготовка и передача информации на второй уровень системы автоматического контроля (САК).

Создание высокоэффективных систем управления конвейерными линиями непосредственно связано с решением задач по автоматизации контроля за их работой. Наиболее важным моментом при проектировании и разработке САК является выбор комплекса технических средств, обеспечивающего решение всех за-

дач. В этом случае необходимо провести комплексный синтез структуры технических средств на основе развития САК, реализации и распределения их функций. Следует отметить, что создание полностью законченной функциональной САК должно выполняться по следующим направлениям: автоматизации выбора методов управления качеством; создания адаптивной системы управления по возмущениям; развития программно-математического обеспечения; создания универсальных устройств контроля состояния наиболее ответственных узлов и элементов конвейерных систем; повышения точности датчиков обратной связи. Работы по созданию САК следует проводить в следующих двух основных направлениях: организации надежной, емкой и быстродействующей сети связи; разработки подпрограммного и математического обеспечения ее подсистем.

Следует отметить, что в конвейерном транспорте практически не применяется теория проектирования САК, а используются теория сложных систем, методы математического и натурного моделирования, методы теории информации. Процесс проектирования содержит трудоемкие расчетно-аналитические и экспериментальные исследования, реализуется использованием функций математических моделей, их анализом, принятием решений о выборе эффективного контроля на конкретном оборудовании.

При высокой стабильности и незначительной интенсивности процесса проектирования ограничиваются линейным приближением [1–3]:

$$Y_i = p_i = a + b \cdot i. \quad (1)$$

Конкретные алгоритмы функционирования систем управления создаются с учетом предсказаний и прогноза результатов влияния учитываемых факторов на выходные параметры конвейерной системы. Подобный прогноз применим в том случае, когда между корректируемым параметром и влияющими факторами имеется определенная зависимость. Многообразие факторов, влияющих на выходные параметры объектов конвейерной системы и сложные взаимосвязи между ними, приводит к тому, что попытки предварительно

рассчитывать результат действия каждой отдельной причины, базируясь на физических моделях их возникновения, дают положительный результат лишь в отдельных случаях. В данных условиях наиболее целесообразен метод определения соотношений между причинами – действующими факторами и их следствием – соответствующим отклонением. При этом возникает задача синтеза математической модели технологической системы конвейерного транспорта, которая преобразовывала бы изменения действующих факторов в изменения выходных параметров таким образом, как это делает сама система в реальных условиях:

$$Y_i = A \{X_i\}, i = 1, 2, \dots, \quad (2)$$

где X_i – вектор входных параметров системы; Y_i – выходные значения.

Критерий оптимальности выбора модели представляется выражением

$$I = M \{ (Y_i - \bar{Y}_i)^2 \} \min, \quad (3)$$

где Y_i – погрешности выходных параметров.

Оптимальный оператор математической модели имеет следующий вид:

$$Y_i = M(Y_i / X_i), \quad (4)$$

где $M(Y_i / X_i)$ – условное математическое ожидание Y_i относительно входа X_i , являющееся уравнением регрессии.

В большинстве случаев следует ограничиваться линейной регрессией

$$Y_i = a_0 + a_1 X_{i1} + \dots + a_k X_{ki}. \quad (5)$$

Оценка ее коэффициентов осуществляется с использованием метода наименьших квадратов:

$$\sum_{i=1}^I (Y_i - Y'_i)^2 = \sum_{i=1}^I (Y_i - a_0 - a_1 X_{i1} - \dots - a_k X_{ki})^2 \rightarrow \min. \quad (6)$$

Определение коэффициентов a_0, a_1, \dots, a_k должно производиться системой алгебраических уравнений

$$\sum_{j=0}^k a_j \alpha_{nj} = \beta_n, n = 0, 1, \dots, m, \quad (7)$$

где $\alpha_{nj} = \alpha_{jn} = \sum_{i=1}^I X_{ni} X_{ji} \quad n, j = 0, 1, 2, \dots, m, X_{00} = 1,$

$\beta_n = \sum_{i=1}^I X_{ni} Y_i$, полученные из соблюдения условия экстремума производных выражения (6) от суммы квадратов $a_0, a_1, a_2, \dots, a_k$.

Известные алгоритмы вычисления подналадочных коррекций необходимо усовершенствовать с целью сохранения эффективности при изменении условий функционирования. Следует отметить, что функциональная система является малоинерционной, подверженной различным случайным и систематическим возмущениям, приводящим к нестабильности выходных признаков.

Количественной характеристикой выходных параметров объектов конвейерных систем является дисперсия, вычисляемая по следующей зависимости:

$$D^z = \sum_{i=1}^I (Y_i - \bar{Y})^2 / (I - 1); \quad (8)$$

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^I Y_i / I. \quad (9)$$

Рядом авторов в качестве другой количественной характеристики был использован параметр производительности Q на контроль – отношение времени контроля t_k к приведенному времени $t_{прив}$. [1–3]:

$$Q = t_k / t_{прив}. \quad (10)$$

Внешним критерием (целевой функции) процесса контроля и управления следует рассматривать выражение следующего вида [1]:

$$I = P_1 (D / D_{дон})^2 + P_2 (t_k / t_{прив})^2 \quad (11)$$

с наложенными ограничениями $D < D_{зад}, t_k < t_{зад}$, где P_1, P_2 – величины приоритетов, обладающих свойствами:

$$0 \leq P_i \leq 1, i = 1, 2; \quad P_1 + P_2 = 1$$

Величины приоритетов следует задавать перед серией механической обработки деталей.

Процесс функционирования САК непосредственно связан с исследованием и анализом возможных принципов и вариантов управления нестационарными объектами, базирующихся на двух принципах.

При адаптивной подналадке системе контроля и управления придают свойства автоматической корректировки коэффициента обратной связи в ходе процесса по результатам текущей оценки качества подналадки.

Как известно, в алгоритмах управления по возмущению адаптация осуществляется в результате уточнения весовых коэффициентов управления регрессии по следующей зависимости:

$$K_{вес.}(i) = K_{вес.}(i-1) + \left[Y_{i.вых} - \sum_{n=1}^m K_{вес.}(i-1) X_{ni} \right] \times \times X_{ni} / (\gamma_{ш} \sum_{n=1}^m X_{ni}^2), \quad (12)$$

где $K_{вес.}(i)$ – весовой коэффициент в i -м цикле; $Y_{i.вых}$ – отклонение выходных параметров, γ – параметр шума, X_{ni} – значение возмущения в цикле.

При постоянстве параметров алгоритмов управления имеется возможность снизить время, отводимое на контроль. Увеличение дисперсии приводит к вводу дополнительного контура подналадки. Самообучающаяся система включает блоки анализа и поиска; внутренний цикл выбора наилучшего с точки зрения минимума целевой функции варианта контроля и управления; блок задания.

Следует также отметить, что самообучение системы возможно при смене алгоритма контроля и управ-

ления в результате минимизации выбранного функционала цепи. Самоорганизация и самонастройка также возможны в результате выбора размерности и способа измерения за счет текущей коррекции параметров.

В случае превышения доли случайной составляющей свыше 50% коэффициент корреляции управляемого выходного параметра близок к нулю, а дисперсия большинства вариантов управления будет близка к полю допуска. При этом следует изменять вариант контроля, то есть измерять не в одной, а в двух, трех точках, повышая адекватность модели и эффективность контроля и управления. В каждом цикле производится сбор информации, занесение в память и текущая идентификация весовых коэффициентов. При устойчивости весовых коэффициентов по выбранному критерию производится расчет статистических характеристик моделей управления; выбор размерностей модели; значения критерия потерь производительности для каждого варианта управления. Используя способ перебора, из вариантов контроля и управления по подсчитанной целевой функции выбирается вариант с наименьшим обобщенным критерием эффективности.

Выводы

Диапазоном управления данной системы контроля и управления параметрами объектов конвейерной системы является доля случайной составляющей, а связь последующего с предыдущим определяется однозначно, то есть данная зависимость строится на статистических критериях.

Преимуществом данной системы контроля и управления параметрами объектов конвейерной системы является возможность выбора наилучшей целевой функции способа контроля и управления.

Список литературы

1. Автоматизация типовых технологических процессов и установок / Коротин А.М., Петров Н.К. и др. М. : Энергоатомиздат, 1988. 432 с.
2. Адаптивное управление технологическими процессами / Соломенцев Ю.М., Митрофанов В.Т. и др. М. : Машиностроение, 1990. 536 с.
3. Биргер И.А. Техническая диагностика. М. : Машиностроение, 1988. 240 с.

Bibliography

1. Korytin AM, Petrov, NK etc. Automation of typical technological processes and systems. Moscow : Energoatomizdat. 1988. 432 s.
2. Solomentsev YM, Mitrofanov, VT and other adaptive process control. M. : Mechanical Engineering. 1990. 536 s.
3. A Birger Technical diagnostics. M. : Mashinostroenie. 1988. 240 s

ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И РЫНОК ПРОДУКЦИИ

УДК 338.94

Колокольцева Е.В.

ОБЪЕДИНЯЮЩИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ПРОЕКТА И ПРЕДПРИЯТИЯ

В данной статье рассматриваются объединяющие показатели оценки инвестиционной привлекательности предприятия и проекта. Для этого используются показатели оценки эффективности бизнеса предприятия в условиях инвестирования в него финансовых средств. Рассматриваются показатели, по которым оцениваются возможности сбалансированного роста объемов производства в условиях самофинансирования инвестиций и привлечения долговых заемных средств. В качестве показателей эффективности инвестиционного процесса на предприятии рассматриваются показатели доходности совокупных активов и экономической добавленной стоимости.

Ключевые слова: инвестиционная привлекательность, показатели эффективности, жизненный цикл инвестиционного проекта, экономическая добавленная стоимость, средневзвешенная стоимость капитала, прибыль, рентабельность.

In this article the united ratios valuing of investment attractiveness of enterprises and investment project are considered. For that the ratios of business effectiveness by different finances sources are using. Indexes of possibilities for balance expansion of production in condition of using different investment capital also take place in article. Profitableness of total assets and economic added value are considered as main ratios valuing of investment attractiveness of enterprises and investment project.

Key words: attractiveness for investments, ratios of economical efficiency, living cycles of investment project, economical value added, weighted average cost of capital, income, profitability.

Вопросы эффективности инвестиций всегда связаны с вопросами инвестиционной привлекательности как для инвестора, так и для собственников инвестируемого предприятия. Ответом для инвестора является извлечение прибыли на уровне не ниже средневзвешенной для отрасли или для предприятий иной отрасли, равных по стоимости бизнеса. Ответом для собственников (акционеров) предприятия является увеличение стоимости предприятия и его ликвидности. Пожалуй, последнее более важно, так как показывает возможность быть реализованной на рынке в любой момент времени. Ответ на эти вопросы может дать оценка инвестиционной привлекательности предприятия для инвестора и инвестиционного проекта для предприятия. Причем объединяющим в формировании ответа является только инвестиционный проект, который определяет результат по схеме «два в одном». Отсюда следует вывод, что нет только привлекательного инвестиционного проекта, как и нет только инвестиционно привлекательного предприятия. И проект, и предприятие должны «найти друг друга», удовлетворив требования, предъявляемые один к другому.

Что же это за требования? Со стороны проекта, представителем которого является инвестор, требования выглядят, на наш взгляд, следующим образом:

- 1) способность предприятия вызвать коммерческий интерес у реального инвестора;
- 2) наличие и доля рынка сбыта продукции на внутреннем и внешнем рынках;
- 3) состояние и обновление активов предприятия;
- 4) высокая доходность совокупных активов предприятия;
- 5) наличие и реализация программы развития предприятия в прошлом, настоящем и будущем;

6) динамика наращения стоимости предприятия и бизнеса (ДСАК, EVA);

7) высокий профессионализм менеджеров и профессиональных рабочих предприятия (кадровый потенциал предприятия);

8) конкурентоспособность продукции;

9) финансовая устойчивость предприятия и пути ее сохранения;

10) низкий уровень совокупного риска вложения средств в данное предприятие.

Можно выделить дополнительные малозначительные требования со стороны инвестора к предприятию, однако они не могут сколь-либо значительно изменить ситуацию на предприятии в лучшую сторону.

Со стороны предприятия, интересы которого представляют акционеры и собственники, требования к инвестиционному проекту выглядят следующим образом:

1) способность проекта создать значительный скачок в области качества производимой продукции;

2) способность проекта значительно расширить долю рынка продукции и, как следствие, значительно увеличить объемы производства;

3) способность проекта создавать экономическую добавленную стоимость капитала;

4) способность проекта увеличить производительность труда и рост заработной платы;

5) увеличить рыночную стоимость предприятия.

Анализ требований, предъявляемых на уровне субъектов инвестиционного проекта, показывает, что активную роль в инвестиционной привлекательности играют активы предприятия. Именно от правильности их использования зависит финансовое состояние и инвестиционная привлекательность предприятия [1]. В этой связи количественная оценка стоимости пред-

приятия и ее активов выдвигается на первый план. При этом необходимо отметить тот факт, что активы и обязательства обуславливают величину капитала предприятия и его экономический потенциал, то есть способность обеспечить максимально возможный объем производства товаров и услуг, имеющих платежеспособный спрос на рынке, с целью получения дохода.

Киран Уолш [1], рассматривая способы измерения доходности инвестиций (return on investment, ROI), выделил следующие два показателя – это доходность совокупных активов (ДСА) предприятия и доходность собственного капитала (ДСК). ДСА является критерияльным показателем, поскольку задает один из важнейших критериев для комплексной оценки финансово-хозяйственной деятельности предприятия в отчетном периоде. Положительная динамика ДСА активов свидетельствует об успешном развитии предприятия, росте его привлекательности для инвесторов и деловых партнеров. Снижение доходности активов указывает на существование тех или иных проблем, связанных с деятельностью фирмы (проблемы могут быть связаны как с качеством управления предприятием, так и с изменениями рыночной конъюнктуры; в любом случае руководители предприятия должны принимать решения, способствующие повышению эффективности его деятельности).

Второй показатель ДСК отражает эффективность деятельности предприятия с позиции его собственников. К. Уолш рассматривает эти показатели в их совместном влиянии на состояние бизнеса. И если доходность совокупных активов показывает операционную эффективность всего предприятия, то доходность собственного капитала показывает, каким образом операционная эффективность трансформируется в благополучие собственников.

Для вычисления ДСА необходимо получить отношение показателя прибыли до выплаты процентов и налогов к показателю совокупных активов

$$ДСА = \frac{ПВПН}{СА} \times 100\%, \quad (1)$$

где ПВПН – прибыль до выплаты процентов и налогов, руб.; СА – совокупные активы, руб.

Для вычисления ДСК необходимо получить соотношение показателей прибыли после уплаты налогов и собственного капитала

$$ДСК = \frac{ПВН}{СК} \times 100\% \quad (2)$$

где ППН – прибыль после выплаты налогов, руб.; СК – собственный капитал, руб.

Расчетные значения показателей ДСА и ДСК должны сравниваться с соответствующими показателями отрасли, в предприятия которой инвестор готов вложить финансы. Чтобы принятие решения было осознанным, необходимо поднять значимость этих показателей путем представления факторов, влияющих на их величину.

На первом этапе ДСА обычно разбивают на два

промежуточных показателя:

ДСА = рентабельность реализации × оборачиваемость совокупных активов;

$$ДСА = \frac{ПВПН}{СА} = \frac{ПВПН}{Выручка от реализации} \times \frac{Выручка от реализации}{СА} \quad (3)$$

Умножив правую часть выражения ДСА на 100%, получим значение показателя в процентах. Дальнейшая детализация влияния параметров, определяющие рентабельность реализации и оборачиваемость совокупных активов, может быть проведена на основе факторного анализа [3]. Количество факторов, привлекаемых к анализу, определяется поставленными задачами исследования математической модели с привлечением моделей финансового анализа. Предлагается оценить влияние ликвидности предприятия, финансовой устойчивости, структуры пассивов. Пожалуй, эти показатели в купе с рентабельностью реализации и оборачиваемостью совокупных активов позволят найти рычаги влияния на доходность совокупных активов и, следовательно, инвестиционную привлекательность предприятия. Для решения этой задачи умножим уравнение (3) на соотношения $\frac{ОА}{ОА} = \frac{КО}{КО} = \frac{СОК}{СОК} = \frac{ИК}{ИК} = 1$ не нарушающие тождества этого уравнения. Проведя перегруппировку показателей, получим новое уравнение, раскрывающее новые факторы, влияющие на величину доходности совокупных активов, а именно:

$$ДСА = \frac{ПВПН}{Вр} \times \frac{Вр}{ОА} \times \frac{ОА}{СОК} \times \frac{СОК}{СК} \times \frac{СК}{ИК} \times \frac{ИК}{СА} \quad (4)$$

Здесь:

$\frac{ПВПН}{Вр}$ – рентабельность продаж или норма при-

были – показатель, широко используемый для анализа прибыльности предприятия и качества менеджмента предприятия;

$\frac{Вр}{ОА}$ – оборачиваемость оборотных активов – важ-

нейший показатель эффективности использования оборотных средств на всех этапах заготовления, переработки и сбыта продукции;

$\frac{ОА}{СОК}$ – доля собственных оборотных средств в оборотных активах предприятия;

$\frac{СОК}{СК}$ отношение краткосрочных и долгосрочных обязательств (структура заемных средств)

$\frac{СК}{ИК}$ – определяет степень финансовой независимости предприятия;

$\frac{ИК}{СА}$ – определяет степень финансовой зависимости предприятия.

Итак, мы получили шестифакторную модель, которую следует проанализировать на вопрос, в какой степени факторы влияют на изменение доходности совокупных активов.

Анализ показывает, что доходность совокупных активов напрямую зависит от рентабельности продаж ($\frac{ПВПН}{Вр}$) и, следовательно, от издержек производства,

от оборачиваемости оборотных активов ($\frac{Вр}{ОА}$), от доли собственных оборотных средств в оборотных активах предприятия ($\frac{ОА}{СОК}$), от показателя маневренности

собственного оборотного капитала ($\frac{СОК}{СК}$), от доли собственного капитала в инвестированном капитале ($\frac{СК}{ИК}$) и от соотношения инвестированного капи-

тала и совокупных активов ($\frac{ИК}{СА}$).

Рекомендуется проводить факторный анализ методом цепных подстановок с использованием абсолютных разностей. Если будет получена положительная динамика нарастания доходности совокупных активов предприятия, то инвестор посчитает такое предприятие инвестиционно привлекательным. Рассматривая ДСА на временном лаге развития предприятия, можно рассчитать индекс изменения этого показателя, беря отношение значений ДСА или его изменений во времени, тогда

$$I_{дс} = \frac{\Delta ДСА i}{\Delta ДСА(i-1)}, \quad (5)$$

где $\Delta ДСА i$ – изменение доходности совокупных активов в текущий период времени;

$\Delta ДСА(i-1)$ – изменение доходности совокупных активов в предшествующий период времени.

Возможны три принципиальных значения индекса: $I_{дс} < 1$ – имеет место понижение доходности совокупных активов и, следовательно, инвестиционной привлекательности;

$I_{дс} = 1$ – имеет место стабильность доходности совокупных активов и сохранение инвестиционной привлекательности;

$I_{дс} > 1$ – имеет место повышение доходности совокупных активов и инвестиционной привлекательности предприятия.

Доходность собственного капитала предприятия – важнейший показатель доходов акционеров (собственников). Высокое значение этого показателя говорит об успехе предприятия, что ведет к высокому рыночному курсу его акций и относительной легкости привлечения новых инвестиций на его развитие.

Доходность собственного капитала говорит о ставке доходности инвестиций для акционеров, которую обеспечивает предприятие. В определении этого показателя задействована ДСА, средние затраты на заемный капитал и соотношение долей акционерного капитала и остальных средств (коэффициент финансового рычага или квота собственника).

$$ДСК = \{ ДСА + [(ДСА - РЗК) \times \frac{ЗК}{СК}] \} \times (1 - Н), \quad (6)$$

где РЗК – средние затраты на заемный капитал, %;

$\frac{ЗК}{СК}$ – коэффициент финансового рычага, ед.;

Н – ставка налога на прибыль, ед.

Очевидно, что рост доходности совокупных активов влечет за собой рост доходности собственного капитала, что, в свою очередь, приводит к росту дивидендов, выплачиваемых акционерам. Однако последних интересуют не только уровень выплачиваемых или начисленных дивидендов, еще более важным является рост стоимости компании с сохранением роста доходности собственного капитала.

Рост собственного капитала предприятия возможен за счет инвестирования в развитие его бизнес-линий собственной прибыли или (и) за счет внешнего инвестирования. В условиях самофинансирования темп роста СК (отношение реинвестируемой прибыли к собственному капиталу) зависит от следующих факторов:

– рентабельность продаж (Rpn) – отношение чистой прибыли к выручке;

– оборачиваемость капитала (Коб) – отношение выручки к среднегодовой сумме капитала;

– структура капитала (Кз), характеризующая финансовую активность предприятия по привлечению заемных средств (отношение среднегодовой суммы валюты баланса к среднегодовой сумме собственного капитала);

– доля отчисления чистой прибыли на развитие производства (Дотч) – отношение реинвестированной прибыли к сумме чистой прибыли.

Для расчета влияния данных факторов на изменение темпов роста собственного капитала А.Д. Шереметом и Р.С. Сайфулиным [2] предложена следующая модель:

$$T \uparrow СК = \frac{Пр}{СК} = \frac{ЧП}{В} \times \frac{В}{КЛ} \times \frac{АС}{СК} \times \frac{Пр}{ЧП} = Rpn \times Kоб \times Kз \times Дотч,$$

где $T \uparrow СК$ – темп прироста собственного капитала;

Пр – реинвестированная прибыль;

СК – собственный капитал;

ЧП – чистая прибыль;

В – выручка;

АС – (aggregate capital) общая сумма капитала (валюта баланса).

Расчет влияния этих факторов выполним одним из способов детерминированного факторного анализа, используя данные **таблицы**.

Исходные данные для факторного анализа темпов роста СК

Показатели	Прошлый год	Текущий год
1. Темп прироста СК ($T \uparrow СК$), %	9,0	10,0
2. Рентабельность продаж (Rpn), %	15	15,6
3. Оборачиваемость активов (Коб)	4	4,2
4. Структура капитала (Кз)	1,85	1,95
5. Доля отчислений от чистой прибыли в фонд накопления (Дотч)	0,40	0,42

Расчет произведем способом цепной подстановки:

$$T\uparrow SK_0 = 15 \times 4 \times 1,85 \times 0,40 = 44,4;$$

$$T\uparrow SK_1 = 15,6 \times 4 \times 1,85 \times 0,40 = 46,2;$$

$$T\uparrow SK_2 = 15,6 \times 4,2 \times 1,85 \times 0,40 = 48,5;$$

$$T\uparrow SK_3 = 15,6 \times 4,2 \times 1,95 \times 0,40 = 51,1;$$

$$T\uparrow SK = 15,6 \times 4,2 \times 1,95 \times 0,42 = 53,7.$$

Общее изменение роста собственного капитала составляет

$$\Delta T\uparrow SK_{\text{общ}} = 53,7 - 44,4 = + 9,3 \%,$$

в том числе за счет изменения:

$$\text{рентабельности продаж} \quad 46,2 - 44,4 = + 1,8\%;$$

$$\text{оборачиваемости активов} \quad 48,5 - 46,2 = + 2,3\%;$$

$$\text{структуры капитала} \quad 51,1 - 48,5 = + 2,6\%;$$

$$\text{доли отчисления от чистой}$$

$$\text{прибыли в фонд накопления} \quad 53,7 - 51,1 = + 2,6\%.$$

Рациональная инвестиционная политика будет способствовать росту стоимости СК.

Для сохранения доходности собственного капитала в условиях роста СК необходим сбалансированный рост. Сбалансированный рост собственного капитала за счет потоков денежной наличности от основной деятельности должен соответствовать равновесию, т.е. когда не остается излишков денежных средств и не образуется их дефицит. Сбалансированный рост компаний подчиняется модели, предложенной К. Уолшем:

$$\begin{aligned} \text{Темп роста выручки} &= \\ &= \frac{\text{Нераспределенная прибыль (нп)}}{\text{Собственный капитал (ск)}} \times 100\%. \end{aligned} \quad (7)$$

При превышении темпом этого значения потребуются дополнительный капитал для сохранения сбалансированного роста. В условиях, когда не хватает собственного капитала для финансирования инвестиционного проекта предприятия, прибегают к внешнему заимствованию. Величина этих заимствований должна учитывать структуру возникающего финансирования, отслеживать величину финансового рычага, в целях обеспечения достаточной финансовой устойчивости предприятия. Прогноз роста объемов производства должен коррелировать с прогнозом необходимого прироста оборотных активов в части производственных запасов и дебиторской задолженности. Поэтому расчет объема инвестиций для расширения объемов производства должен включать затраты на приобретение внеоборотных и оборотных активов. Рассчитав объем инвестиций и структуру финансирования, необходимо определить цену привлекаемых средств, которая может быть рассчитана по формуле средневзвешенной цены, широко используемой в экономических расчетах:

$$WACC = PЗК \times dЗК \times PСК \times dСК, \quad (8)$$

где PЗК – цена заемного капитала, %;

dЗК – доля заемного капитала в структуре капитала, ед.;

PСК – цена собственного капитала, %;

dСК – доля собственного капитала в структуре капитала, ед.

Если цена заемного капитала сложностей не вызывает (это процентная ставка с учетом выплаты налога),

то затраты на акционерный (собственный) капитал определить гораздо сложнее. Все дело в том, что в основе стоимости собственного капитала лежат ожидания инвестора, который рассматривает эти ожидания с позиции ожидаемого риска – чем выше ожидаемый риск, тем выше доходность на акцию. Для оценки затрат на акционерный капитал предприятия чаще всего применяют «модель оценки долгосрочных активов» (capital asset pricing model, CAPM):

$$\begin{aligned} PСК &= \text{Доходность безрисковых активов} + \\ &+ (\text{Премия за рыночный риск} \times \\ &\times \text{Фактор бета для компании}). \end{aligned}$$

Информационная доступность данных по рынку капитала позволяет без труда выполнить расчеты показателя PСК. Показатель WACC, помноженный на инвестированный капитал (IC), состоящий из собственного и заемного капиталов (платного), определяет капитальные издержки (Capital Charge), также широко используют в экономических расчетах при оценках, например, доходности левверджированного предприятия, т.е. имеющей долговые обязательства. Капитальные издержки позволяют более точно определить остаточную прибыль, которую предприятие получает после вычитания их из чистой операционной прибыли после уплаты налога на прибыль. Данная остаточная прибыль в последние годы получила статус экономической добавленной стоимости EVA (economic value added):

$$EVA = NOPAT - WACC \times \text{Invested Capital}, \quad (9)$$

где NOPAT – чистая операционная прибыль после налога на прибыль;

WACC – средневзвешенные затраты на капитал;

Invested Capital – инвестированный капитал.

Уравнение (9) можно представить в виде

$$EVA = \left(\frac{NOPAT}{IC} - WACC \right) \times IC = (ROI - WACC) \times IC, \quad (10)$$

где ROI – рентабельность капитала, инвестированного в компанию.

Показатель EVA отражает прибавление стоимости к рыночной стоимости предприятия и демонстрирует эффективность своей деятельности для потенциальных инвесторов.

Если $EVA > 0$, т.е. $ROI > WACC$, это означает, что имеет место прирост стоимости предприятия и его собственники заработали больше, чем на альтернативных вложениях.

Если $EVA = 0$, т.е. $ROI = WACC$, это означает, что прироста стоимости предприятия нет, но собственники капитала предприятия фактически получили норму возврата на свой капитал, компенсирующую совокупный риск вложения своих средств.

Если $EVA < 0$, т.е. $ROI < WACC$, это означает, что имеет место падение стоимости предприятия и собственники теряют вложенный в предприятие капитал за счет потери альтернативной доходности.

Рыночная стоимость предприятия равна сумме стоимости чистых активов предприятия и сумме EVA будущих периодов, приведенной на момент оценки, т.е.

$$PC = \text{ЧА} + \sum_{i=1}^{\infty} \frac{EVA_i}{(1-R)^i}, \quad (11)$$

где ЧА – чистые активы предприятия, руб.;

R – ставка приведения к текущей стоимости, ед.;

n – период оценки стоимости предприятия, лет.

В формуле (11) значение чистых активов предприятия берется по балансовой стоимости, что позволяет более корректно выделить проявление влияния EVA на величину PC предприятия. Это пояснение связано с тем, что при оценке рыночной стоимости предприятия (бизнеса) методом чистых активов при затратном подходе активы и пассивы предприятия приводят к рыночной стоимости, т.е. проводят их переоценку на эффективную дату. Здесь под эффективной датой понимается дата оценки стоимости предприятия. Расчет ЧА с применением переоценки активов и пассивов тоже возможен, учитывая независимость второго слагаемого от первого в выражении (11), но во временном аспекте можно потерять динамику изменения стоимости предприятия, что очень важно для стратегического анализа развития предприятия и оценки инвестором квалификации и эффективности менеджмента предприятия.

Анализируя выражения (8)–(11), можно сделать вывод о том, что EVA повышает прибыльность в основном за счет улучшения использования капитала, а не за счет направления основных усилий на уменьшение затрат на пользование капиталом. Концепция EVA часто используется западными компаниями как более совершенный инструмент измерения эффективности деятельности подразделений, нежели чистая прибыль. Такой выбор объясняется тем, что EVA оценивает не только конечный результат, но и то, какой ценой он был получен (т.е. какой объем капитала и по какой цене использовался).

Стабильность функционирования современного предприятия (действующего в рыночных условиях) предопределяется наличием квазинепрерывного инвестирования средств в активы предприятия, с целью совершенствования техники и технологии. Предприятия, ориентирующие свою деятельность на бесконечно большой срок (∞), выстраивают инвестиционную политику на основе стратегического планирования своего развития. На предприятии может иметь место одновременная реализация двух и более инвестиционных проектов. При этом реализуемые проекты могут находиться на разных стадиях своего развития. В жизненном цикле проекта в соответствии с РМВОК 2004 выделяются фазы: начальная, промежуточная и финальная. В отечественной практике для целей оценки проекта рекомендуется [3] использовать следующее деление на фазы (стадии): прединвестиционная (включающая стадию организации финансирования); инвестиционная, которая может быть составляющей стадией реализации проекта; стадия завершения (выхода) из проекта.

На прединвестиционной стадии заказчик (инициатор) проекта вынужден делать оценку проекта как

необходимый элемент бизнес-плана, без которого ему не найти соинвесторов проекта и не приступить к его реализации. Методов расчета ставки дисконтирования при оценке NPV на прединвестиционной стадии нет и, чаще всего, на этом этапе прибегают к среднеотраслевой (если проект узкоотраслевой) доходности активов на предприятиях отрасли. Основные принципы оценки экономической эффективности проектов требуют учета при прогнозировании составляющих денежных потоков, социальных факторов, экологических и всех прочих системных эффектов. Поэтому расчетная величина NPV отражает комплексный интегральный подход к оценке эффективности проекта и показывает, какая новая стоимость может быть создана в результате реализации проекта без учета источников финансирования и организационно-экономического механизма его реализации. На стадии инвестирования, когда определены все финансовые провайдеры проекта, когда известна структура финансов, проводят корректировку источников финансирования и уточняют затраты на инвестированный капитал.

На стадии реализации и завершения расчетный эффект проекта состоит в приросте стоимости бизнеса предприятия, его акционерного капитала за счет реализации проекта (проектов). Эта стадия развития наиболее весомая по достигаемому совокупному эффекту инвестиционного проекта. Мы полагаем, что заказчик проекта обратит особое внимание на этот этап жизненного цикла ИП при оценке его эффективности и приемлемости.

В начале статьи мы уже обратили внимание пользователя на то, что нет только привлекательного инвестиционного проекта, как и нет только инвестиционно-привлекательного предприятия. И проект, и предприятие должны «найти друг друга», удовлетворив требования, предъявляемые один к другому. Рассмотренные выше показатели эффективности работы предприятия, на наш взгляд, позволяют «найти друг друга» и инвестиционному проекту и предприятию – заказчику. Настоящая статья не претендует на анализ всех проблем, возникающих при оценке показателей оценки инвестиционной привлекательности предприятия и проекта (проектов). В статье сделана попытка привлечь внимание пользователей к необходимости поиска моделей и показателей, объединяющих решения этих двух задач.

Список литературы

1. Киран Уолш. Ключевые показатели менеджмента. Как анализировать, сравнивать и контролировать данные, определяющие стоимость компании: пер. с англ. М.: Дело, 2000. 360 с.
2. Шеремет А.Д., Сайфулин Р.С. Методика финансового анализа. М.: ИНФРА-М, 1996. 176 с.
3. Ларионова Е. Экономическая добавленная стоимость // Управление корпоративными финансами. 2005. № 1.

Bibliography

1. Ciaran Walsh. Key Management Ratios. How to analyze, compare and control the figures that drive company value. Copyright. – М.: «Business», 2000. 360 p.
2. Sheremet A.D., Syifulin R.S. Method of Financial Analysis. М.: INFRA-M, 1996. 176 p.
3. Larionova E. Economical Value Added//Corporate Financial Menegment. 2005. №1.

УДК 658:338.32.053.3

Данилов Г.В., Рыжова И.Г., Войнова Е.С.

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ И ОЦЕНКА ПРОПОРЦИОНАЛЬНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ ПРЕДПРИЯТИЯ

В статье предложена графоматричная модель для анализа величины и структуры производственных мощностей предприятия. Разработана методика анализа соответствия производственных мощностей рыночному спросу на выпускаемую продукцию. Предложенная методика может быть использована на стадии проектирования производственной системы, при принятии решений о реконструкции, а также при оценке рыночной стоимости предприятия.

Ключевые слова: Структура производственных мощностей, оценка пропорциональности производственных систем, ассортиментные сдвиги.

The article offers the graph-matrix model for value analysis and structure analysis of production capacities of the enterprise. This method is developed for analysis of correspondence of enterprise production capacities to the market demands of its output product. The offered method can be used at design-stage of industrial system, or at decision-making stage of enterprise reconstruction or estimation of its market value.

Key words: production capacity structure, estimation of industrial system proportionality, assortment shifts

Структура и величина производственных мощностей (ПМ) предприятия являются важнейшими факторами, определяющими стоимость предприятия, его положение на рынке сбыта продукции и перспективы развития.

Как известно, величина производственной мощности определяется в первую очередь наличными средствами труда (структурой основного капитала) [2]. Можно выделить два аспекта рассмотрения и анализа производственных мощностей: технико-технологический и экономический. Основой для экономического аспекта является технико-технологический, но, тем не менее, ПМ как экономическая категория имеет значительную самостоятельность. В данной статье рассматривается экономический аспект анализа производственной мощности.

Для управления производством важно знать оптимальную («собственную») ассортиментную структуру продукции исследуемого производственного объекта, т.е. структуру, обеспечивающую наиболее полную совокупную загрузку мощностей всех его звеньев. Знание оптимальной ассортиментной структуры продукции производственного объекта необходимо для обоснования специализации этого объекта, оценки уровня пропорциональности его звеньев и соответствия структуры мощностей предприятия рыночным потребностям в различных видах продукции. Если собственная структура продукции предприятия не соответствует рыночному спросу, то возникает вопрос о реконструкции мощностей. Анализ литературных источников показал, что в настоящее время фактически отсутствуют методы и модели анализа зависимости производственной мощности от ассортиментных сдвигов [2–6].

Для определения оптимальной ассортиментной структуры продукции в данной статье предлагается использовать математическую модель оптимизационного типа. Критерием оптимальности в этой модели должен быть комплексный показатель, характеризующий степень загрузки мощностей звеньев производственной системы. Наиболее близким по смыслу к этому показателю является показатель, известный как уровень (коэффициент) пропорциональности производственного объекта.

Проанализировав формулы для расчета уровня пропорциональности, предложенные различными авторами, можно сделать вывод, что некоторые из них необоснованно сложны и не имеют явных преимуществ по сравнению со следующей формулой:

$$S_0 = \frac{1}{m} \times \sum_{i=1}^m S_i, \quad (1)$$

где S_0 – степень загрузки (или уровень пропорциональности) производственной системы в целом; S_i – степень загрузки i -го звена; m – количество звеньев данной производственной системы.

В свою очередь, степень загрузки звена определяется отношением пропускной способности системы к пропускной способности этого звена.

В формуле (1) все звенья одинаково влияют на показатель степени загрузки системы. Вместе с тем, загрузка производственной системы, при прочих равных условиях, будет выше, если выше будут загружены ее звенья, характеризующиеся большей долей основного капитала, вложенного в звено. С учетом сказанного формула (1) принимает вид

$$S_0 = \sum_{i=1}^m s_i \times d_i, \quad (2)$$

где d_i – доля основного капитала i -го звена в его общей сумме.

В данной статье рассматриваются модели и методы расчета пропускных способностей и мощностей производственных объектов с поперечным типом производства.

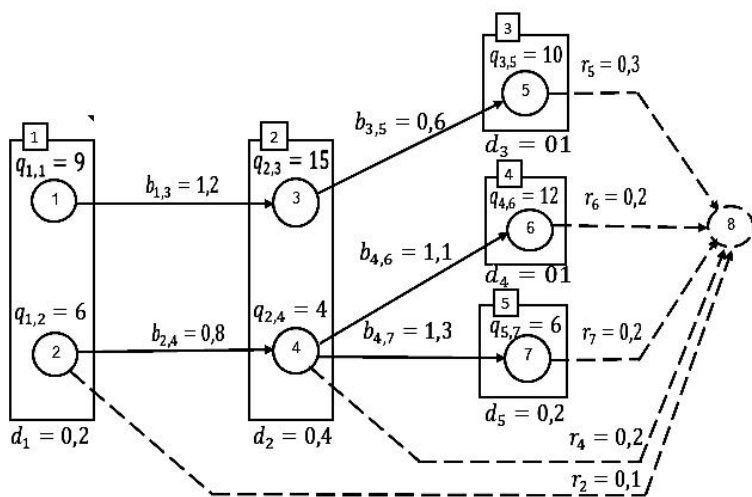
При расчете пропускных способностей звеньев и степени загрузки производственной системы необходимо учитывать пропорции (расходные коэффициенты), в которых одни виды продукции расходуются на производство других. Иначе говоря, необходимо учитывать технологические взаимосвязи между стадиями производственного процесса, а следовательно, и между звеньями производственной системы.

Обычно, обсуждая технологические взаимосвязи между стадиями производственного процесса, говорят

о технологической цепи. Фактически, на крупных предприятиях всегда имеется технологическая сеть как результат комбинирования многих технологических цепей.

Для расчета пропускной способности звеньев и производственной системы в целом сеть технологических взаимосвязей целесообразно наглядно представить в виде графа, т.е. совокупности кружков, прямоугольников и связывающих их стрелок [1]. Кружки означают виды продукции. Стрелки показывают расход одних видов продукции на производство других. Прямоугольники обозначают звенья производственной системы. На схеме показано, какими звеньями обрабатываются конкретные виды продукции.

На рисунке изображена сеть технологических взаимосвязей некоторой производственной системы, включающей пять звеньев и выпускающей семь видов продукции. Примем для определенности, что это металлопродукция, измеренная в физических тоннах.



Структура производственной системы

На рисунке приняты следующие обозначения:

$d = (d_k)_{l \times 1}$ – вектор распределения основного капитала по производственным звеньям в долях единицы;

$r = (r_j)_{n \times 1}$ – вектор ассортиментных соотношений конечной (валовой) продукции;

$b = (b_{i,j})_{m \times n}$ – матрица прямых расходных коэффициентов продуктов на продукты;

$q = (q_{k,j})_{l \times n}$ – матрица производственной мощности звеньев по продуктам. Если продукт не обрабатывается непосредственно данным звеном, то ПМ звена по этому продукту считается бесконечно большой величиной. При ведении расчетов на ПК, например в системе Microsoft Excel, вместо бесконечных величин используются достаточно большие числовые величины.

Все изображенные на рисунке величины считаются известными.

Звенья производственной системы соединены в одно целое не только сложной сетью технологических взаимосвязей, но и заданными ассортиментными со-

отношениями конечной продукции. Ассортиментные соотношения обуславливают не менее реальные связи между звеньями, чем технологические связи. Более того, формально связи, обусловленные ассортиментными соотношениями, можно представить как технологические. А именно преобразуем изображенную на рисунке сеть технологических взаимосвязей, введя в ее состав фиктивное звено (штриховая линия). Примем, что фиктивное звено выпускает один условный вид продукции, на который расходуются все виды конечной продукции системы в пропорциях, равных заданным ассортиментным соотношениям. Фиктивное звено характеризуется бесконечно большой производственной мощностью и нулевой долей основного капитала.

Таким образом, мы заменили заданные (например, проектные или плановые) ассортиментные соотношения конечной продукции системы технологическими связями между реальными звеньями и фиктивным звеном. Преобразованная система эквивалентна исходной по всем производственным характеристикам, но в отличие от исходной у нее на выходе всего один вид конечной (условной) продукции, что имеет решающее значение для расчета пропускных способностей звеньев в единицах конечной продукции системы.

При ведении расчетов в электронных таблицах, например в Microsoft Excel, целесообразно использовать табличные функции, которые реализуют матричное исчисление.

Расчет производственной мощности выполняется в следующей последовательности:

Вектор сквозных расходных коэффициентов продукции на условную ассортиментную единицу продукции $h = (h_j)_{n \times 1}$:

$$h = (E - b)^{-1} \times r. \tag{3}$$

Результат расчета сквозных расходных коэффициентов продукции на условную ассортиментную единицу продукции для исследуемой производственной системы (см. рисунок), представлен в табл. 1.

Таблица 1

Вектор сквозных расходных коэффициентов продукции на условную ассортиментную единицу продукции

Вид выпускаемой продукции	1	2	3	4	5	6	7
Сквозной расходный коэффициент продукции на условную ассортиментную единицу продукции (h)	0,216	0,644	0,180	0,680	0,300	0,200	0,200

Матрица сквозных расходных коэффициентов продуктов на продукты h' :

$$h' = (E - b)^{-1}. \tag{4}$$

Результат расчета сквозных расходных коэффициентов продуктов на продукты для исследуемой системы представлен в табл. 2.

Таблица 2

Матрица сквозных расходных коэффициентов продуктов на продукты

Продукты	1	2	3	4	5	6	7
1	1,00	-	1,20	-	0,72	-	-
2	-	1,00	-	0,80	-	0,88	1,04
3	-	-	1,00	-	0,60	-	-
4	-	-	-	1,00	-	1,10	1,30
5	-	-	-	-	1,00	-	-
6	-	-	-	-	-	1,00	-
7	-	-	-	-	-	-	1,00

Матрица норм прямого расхода времени звеньев на единицу каждого вида продукции t (табл. 3):

$$t = Rev(q). \tag{5}$$

Таблица 3

Матрица норм прямого расхода времени звеньев на единицу каждого вида продукции

Номер звена	Продукты (порядковый номер)						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0,11	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,07	0,25	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17

Матрица норм прямого и косвенного расхода времени звеньев на единицу каждого вида продукции t' (табл. 4):

$$t' = t \times h'. \tag{6}$$

Таблица 4

Матрица норм прямого и косвенного расхода времени звеньев на единицу каждого вида продукции

Номер звена	Продукты (порядковый номер)						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0,11	0,17	0,13	0,13	0,08	0,15	0,17
2	0,00	0,00	0,07	0,25	0,04	0,28	0,33
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17

Вектор норм расхода времени звеньев на условную ассортиментную продукцию t'' (табл. 5):

$$t'' = t \times h. \tag{7}$$

Таблица 5

Вектор норм прямого расхода времени звеньев на условную ассортиментную единицу продукции

Номер звена	1	2	3	4	5
t''	0,131	0,182	0,030	0,017	0,033

Вектор пропускных способностей звеньев производственной системы Q (табл. 6):

$$Q = \frac{1}{t}. \tag{8}$$

Таблица 6

Вектор пропускных способностей звеньев производственной системы

Номер звена	1	2	3	4	5
Q	7,61	5,49	33,31	59,92	29,98

Производственная мощность системы Q_0 :

$$Q_0 = \min\{Q\}. \tag{9}$$

Производственная мощность исследуемой системы составляет 5,49 условных единиц продукции.

Вектор средневзвешенных коэффициентов загрузки звеньев производственной системы k (табл. 7):

$$k = d^T \times t'. \tag{10}$$

Таблица 7

Вектор средневзвешенных коэффициентов загрузки звеньев производственной системы

Продукция	1	2	3	4	5	6	7
Средневзвешенные коэффициенты загрузки	0,02	0,03	0,05	0,13	0,04	0,15	0,20

Средневзвешенный коэффициент загрузки производственной системы в целом K_0 :

$$K_0 = k \times X, \tag{11}$$

где X – выпуск продукции (товарная продукция).

Для определения «собственной» ассортиментной структуры продукции производственной системы (т.е. оптимальной с точки зрения загрузки системы) необходимо, как уже было сказано выше, составить оптимизационную модель с определенными ограничениями. В качестве целевого показателя предлагается определить средневзвешенный коэффициент загрузки производственной системы в целом (K_0), а в качестве ограничений – фонд рабочего времени оборудования. Таким образом, оптимизационная модель будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{cases} k \times X \rightarrow \max; \\ t' \times X \leq 1. \end{cases} \tag{12}$$

В результате решения данной системы был определен средневзвешенный коэффициент загрузки и «собственная» ассортиментная структура продукции для исследуемого предприятия.

Средневзвешенный коэффициент загрузки исследуемой производственной системы в целом составил 0,61 при выпуске продукции, представленном в табл. 8.

Таблица 8

«Собственная» ассортиментная структура для исследуемой производственной системы

Продукция (порядковый номер)	1	2	3	4	5	6	7
Объем производства	-	0,55	-	1,10	1,65	1,10	1,10

Предложенная графоматричная модель производственной системы и разработанная методика анализа позволяют проанализировать структуру производственных мощностей предприятия, определить «собственную» ассортиментную структуру продукции и оценить положение предприятия на рынке сбыта продукции. По результатам анализа руководство предприятия имеет возможность принимать решения о специализации предприятия и необходимости проведения реконструкции.

Предложенная методика оценки пропорциональности производственных мощностей применима не только для анализа состояния имеющихся мощностей, но и для проектирования новых производственных объектов.

Список литературы

1. Данилов Г.В., Рыжова И.Г., Войнова Е.С. Расчет производственной мощности и анализ безубыточности на стадии проектирования производственных систем // Экономический анализ: теория и практика. №3 (168). Москва, 2010. С. 34–39.
2. Экономика предприятия (в схемах, таблицах, расчетах): учеб. пособие / Складенко В.К., Прудникова В.М., Акуленко Н.Б., Кучеренко А.И.; под ред. проф. В.К. Складенко, В.М. Прудникова. М.: ИНФРА-М, 2002. 256 с. (Серия «Высшее образование»).
3. Зайцев Н.Л. Экономика, организация и управление предприятием: учеб. пособие. М.: ИНФРА-М, 2004. 491 с. (Серия «Высшее образование»).

4. Грузинов В.П. Экономика предприятия (предпринимательская): учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002. 795 с.
5. Райцкий К.А. Экономика организации (предприятия): учебник. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К^о», 2003. 1012 с.
6. Шепеленко Г.И. Экономика, организация и планирование производства на предприятии: учеб. пособие для студентов экономических факультетов и вузов. 5-е изд., доп. и перераб. М.: ИКЦ «МарТ»; Ростов н/Д.: Издательский центр «МарТ», 2004. 608 с. (Серия «Экономика и управление»).

Bibliography

1. Danilov G. V., Ryzhova I.G., Vojnova E.S. Capacity production calculation and the break-even analysis at the design stage of industrial systems // Economy analysis: the theory and practice №3 (168). Moscow, 2010. pages. 34–39.
2. Skljarenko V. K., Prudnikov V. M., Akulenko N.B., Kucherenko A.I. Enterprise economy (schemes, tables, calculations): the Manual / Under the edition of prof. V.K.Skljarenko, V.M.Prudnikov. M: INFRA TH, 2002. 256 pages. («Higher education» Series).
3. Zaitcev N. L. Management of enterprise: economy and organization : Studies. The grant. M: INFRA TH, 2004. 491 p. («Higher education» Series).
4. Gruzinov V.P. Economy of enterprise (for undertakers) : the textbook for high schools. – 2 edition., the revised. M: UNITY-DANA, 2002. 795 pages.
5. Rajtsky K.A. Economy of organisation (for enterprise): the Textbook. 4-th edition., the revised. and add. M: Publishing and trading corporation «Dashkov and K^o», 2003. 1012 p.
6. Shepelenko G. I. Production planning at the enterprise economy and organisation : Manual for students of economic departments and high schools. 5-th edition., revised. and added. M: ИКЦ «March»; Rostov-on-Don: Publishing centre «March», 2004. 608 p. («Economy and management» Series).

УДК 330.35

Касагая И.Л.

ФОРМИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА В НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКЕ

В статье на основе выделенных факторов инновационного потенциала и институтов, обеспечивающих практическую реализацию этих факторов, становится возможным исследование условий формирования и реализации инновационного потенциала на национальном уровне.

По мнению автора, основным условием полной реализации совокупного инновационного потенциала национальной экономики является сбалансированность и эффективность каждой из его составляющих, а также их взаимодействие, поскольку отставание хотя бы одной из них выступает сдерживающим фактором развития национальной экономики в целом.

Ключевые слова: инновационный потенциал, экономический рост, условия и факторы формирования инновационного потенциала.

In this paper is shown that it is possible to study the conditions of a formation and realization of innovative potential at the national level based on selected factors of innovation potential and institutions.

The main problem of a formation and realization of an innovative potential is a problem of efficient using of results of researches and implementation of fundamental and applied results in a production.

The author argues that the balance and effectiveness all components of an innovative potential and their interaction are the main conditions for the full realization of aggregate innovative potential.

Key words: An innovation potential, an economic growth, conditions and factors of innovation potential.

В настоящее время эффективное использование инновационного потенциала, являющегося основой инновационной экономики, становится одной из необходимых предпосылок достижения устойчивости и качества экономического роста.

Мировая экономика сегодня переживает особый период: формируется новая социально-хозяйственная парадигма, объединяющая в себе новые технологии и новый образ жизни. Во времена серьезных структурных сдвигов недопустимо «немного отстать», а потом компенсировать отставание догоняющей модернизацией. В этой связи на первый план выходят процессы, связанные с развитием технологического бизнеса, который способен не только обеспечить потребности инновационного сектора экономики, но и оживить отечественную экономику и открыть перед ней новые горизонты.

Развернувшиеся процессы глобализации обостряют технологическое соперничество как средство сохранения лидерства – вырваться вперед, или интегрироваться в новый миропорядок. Залогом успешного развития (как экономического, так и социально-политического) является постоянное инновационное обновление.

Переход России и Казахстана на инновационный путь развития зависит от многих факторов, к их числу относятся возможность и способность накопленного научного и промышленного потенциала создавать и распространять инновации. Мировая практика показывает, что инновации возникают и быстро распространяются в странах, имеющих как минимум три высокоразвитые составляющие: экономику, научно-технологическую базу и креативность трудовых ресурсов.

Внедрение новшеств всегда имело большое зна-

чение в развитии производства. В современной экономике роль инноваций значительно возрастает. Они все более становятся основополагающими факторами экономического роста. Опыт развитых стран свидетельствует о том, что коренные преобразования в области производительных сил в эпоху НТР, быстрая сменяемость ее волн, а следовательно, новых комбинаций факторов производства, широкое внедрение нововведений стали нормой современной экономической жизни. Возрастающая роль инноваций обусловлена, во-первых, самой природой рыночных отношений; во-вторых, необходимостью глубоких качественных преобразований в экономике государств с целью выхода на траекторию устойчивого роста. Эту задачу можно решить только на основе глубоких качественных преобразований во всех отраслях народного хозяйства, осуществления глубокой структурной перестройки экономики, решительного обновления форм и методов работы [1.С.59].

Понятие «инновационный потенциал» стало концептуальным отражением инновационной деятельности, оно развертывалось и уточнялось в ходе методологических, теоретических и эмпирических исследований и получило свое развитие с начала 80-х годов 20 века.

В последнее время это понятие находит все большее распространение. Сравнительно недавно понятие «инновационный потенциал» стало вводиться в число понятий экономической науки как экономическая категория [2.С.74].

В настоящее время нет единого определения, какая экономическая сфера фиксируется в данном понятии. Анализ экономических аспектов понятия «инновационный потенциал» выявляет широкий спектр подходов к его изучению. К рассмотрению сущности инновационного потенциала, с нашей точки зрения, следует подходить как к экономической категории, являющейся иерархически организованной системой понятий, находящихся в различной степени приближения к сущности потенциала.

Соответственно более верным, на наш взгляд, будет определение инновационного потенциала экономической системы как средства, обеспечивающего получение конкретного и реального социально-экономического результата в стратегическом периоде.

В этой связи на первый план выходят следующие условия:

- наличие новшеств как суммы новых видов продукции, технологии, технических и информационных средств, позволяющих осуществлять социальное, экономическое, технологическое, техническое развитие конкретной системы, начиная с национальной экономики и завершая отдельным предприятием;

- наличие материально-технических трудовых и финансовых ресурсов, необходимых для введения этих новшеств в сферу практического использования и требующихся для обеспечения использования нововведений.

На основе выделенных факторов формирования инновационного потенциала и институтов, обеспечивающих практическую реализацию этих факторов, становится возможным исследование некоторых условий формирования инновационного потенциала на национальном уровне.

Пожалуй, наиболее важное значение в условиях рыночной экономики приобретают **финансовые ресурсы**, которые обеспечивают условия реализации остальных составляющих инновационного потенциала и выполняют роль их количественной оценки.

Финансовое обеспечение научно-технической деятельности отражает возможность, создаваемые экономическими факторами развития и способствует росту инновационного потенциала и его отдельных составляющих. Можно утверждать о наличии зависимости между темпами экономического развития и размерами финансирования научных исследований. Рост экономики страны тем успешнее, чем больший процент ВВП она тратит на науку.

Финансирование науки и научного обслуживания в бюджете РК по сравнению с лидерами развитого мира представляется более чем скромным. Россия же замыкает десятку мировых лидеров по расходам на науку, причем наблюдается рост российских затрат на НИОКР с \$22,1 млрд в 2010 году до \$23,1 млрд в 2011 году, при этом доля этих расходов в ВВП страны остается неизменной – 1% [3].

Из представленных в табл. 1 данных следует, что в 2010 году, по сравнению с 2000 годом, валовые затраты на исследования и разработки возросли в 8,2 раза, тем не менее, в процентах к валовому внутреннему продукту снижение составило 0,03%. Доля бюджетных средств в общем объеме внутренних затрат к 2006 году по сравнению с начальным периодом возросла на 15,7%, но вслед за этим последовало сокращение на 7,6%.

Таблица 1

Динамика ВВП и объема затрат на исследования и разработки в Республике Казахстан* за 2000, 2005–2010 гг.

Показатель	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Объем ВВП, млрд тенге	2599,9	7590,6	10213,7	12849,8	16052,9	17007,6	21647,7
Объем выполненных научно-технических работ, млрд тенге	6,1	29,6	35,57	37,04	49,78	46,83	47,8
Валовые затраты на научные исследования и разработки, млрд тенге	6,0	29,2	35,59	37,15	44,6	49,03	51,04
В том числе, млрд тенге:							
внешние	1,3	7,7	10,8	10,31	9,84	10,04	10,38
внутренние	4,7	21,5	24,8	26,84	34,76	38,99	40,66
Доля затрат на НИОКР в ВВП, %	0,18	0,28	0,24	0,21	0,22	0,24	0,15
Расходы на исследования и разработки из госбюжета, млрд тенге	1,9	11,0	14,2	13,7	15,1	21,54	21,98
Доля бюджетных средств в общем объеме внутренних затрат, %	41,4	51,2	57,1	51,0	43,4	55,1	54,0
Затраты на НИОКР в расчете на душу населения, тенге	315,89	1416,28	1610,38	1720,2	2200,1	2436,8	2918,4
Доля инновационной продукции в ВВП, %	1,27	1,58	1,53	1,19	0,69	0,51	0,48

Источник: Наука и инновационная деятельность Казахстана 2004-2009: Стат.сб. / Агентство по статистике РК. - Астана, 2010. - С.35-39.

Таблица 2

Затраты на технологические инновации по формам собственности в РК*, млн тенге

Год	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Республика Казахстан	35360,3	67088,9	79985,9	83523,4	113460,1	61050,9
В том числе						
Государственная собственность	2248,8	4072,5	7069,5	4650,7	6572,9	4691,6
частная собственность	28395,1	44056,5	68689,5	48472,1	71469,9	41074,3
Собственность других государств, их юридических лиц и граждан	4716,4	18959,9	4226,9	30400,6	35417,3	15285,0

* Источник: Наука и инновационная деятельность Казахстана 2004-2008: Стат.сб. /Агентство по статистике РК. Астана, 2009. С.42; Наука и инновационная деятельность Казахстана 2005-2009: Стат.сб. /Агентство по статистике РК. Астана, 2010. С.35-39.

В 2010 году также наблюдался рост валовых затрат на исследования разработки, тем не менее, следует отметить снижение доли бюджетных средств по сравнению с предыдущим годом на 1,1% (рис. 1).



Рис. 1. Динамика внутренних затрат на исследования и разработки в РК

Неоспоримым лидером в этой области уже 40 лет подряд остаются США: их затраты на науку и НИОКР составят в текущем году треть от мирового объема затрат – \$405,3 млрд, или около 2,7% от объема американского ВВП. Вместе с тем, темпы роста расходов в Америке замедляются: в 2010 году затраты на НИОКР составили 3,2% от объема ВВП США, в 2011 году они увеличились в номинальном выражении на 2,4%. Учитывая, что инфляция в США в 2011 году ожидается на уровне 1,5%, реальные расходы увеличатся на 0,86%, или на \$3,4 млрд.

Доля Азии в общемировых затратах на НИОКР продолжает расти. Эта тенденция наметилась еще пять лет назад, в первую очередь, благодаря тому, что Китай увеличивал расходы на науку в среднем на 10% в год, а на исследования и разработки Китай в 2011 году потратил \$153,7 млрд (1,4% ВВП) по сравнению со \$141,4 млрд в прошлом году, что даст ему возможность выйти на второе место в мире, потеснив Японию.

Расходы на НИОКР в Японии вырастут со \$142 млрд до \$144,1 млрд (3,3% ВВП). Следует, тем не менее, отметить, что, по мнению экспертов, темпы роста расходов на НИОКР в США, Японии и Германии существенно ниже, чем в Китае, России, Южной Корее, Индии и Бразилии, поэтому страны с развивающейся экономикой имеют все шансы потеснить не только развитую Европу, но и США [4].

Разрыв с США, конечно же, представляется особенно драматическим, однако при сравнении с другими странами, более близкими Казахстану по масштабам экономики и уровню развития, ситуация выглядит по-иному.

В течение девяти лет, с 1998 по 2007 гг., общее финансирование сферы НИОКР государственным и частным секторами в развитых странах (по кругу 27 стран Организации экономического сотрудничества и развития – ОЭСР) увеличилось более чем в полтора раза и составило 764 млрд долл., что означало рост средней наукоёмкости с 2,04 до 2,24% ВВП [4]. Лидером этих процессов стала Швеция, где наукоёмкость ВВП в 2004 году – самая высокая в мире – 4,27% (в США она составила 2,67%, в Японии – 3,12%, а в ЕС в среднем – 1,9%) [5.С.178].

В Казахстане, как и в большинстве стран СНГ, среди источников финансирования научных исследований и разработок в 2009 году преобладали бюджетные средства. По данным Статкомитета СНГ, в Казахстане и на Украине бюджетные средства в 2010 году уже занимали меньше половины от всех источников финансирования научных исследований и разработок.



Рис. 2. Структура внутренних затрат по источникам финансирования в РК

Среди других источников финансирования научных исследований и разработок в ряде стран достаточно большую долю занимают иностранные инвестиции (Украина – 16%, Беларусь и Россия – 6%). В Казахстане иностранными инвесторами в 2010 году профинансирован всего 1% научных исследований и разработок.

Вещественной основой инновационного потенциала являются материально-технические ресурсы, которые определяют технико-технологическую базу потенциала, оказывают существенное влияние на масштабы и темпы инновационной деятельности. Инновационный потенциал, в свою очередь, воздействует на отрасли, обеспечивающие его материально-техническими ресурсами.

Обобщенной характеристикой материально-технической составляющей инновационного потенциала выступает размер основных фондов (в стоимостном выражении) (табл. 3).

Таблица 3
Внутренние затраты на исследования и разработки по видам затрат*

Год	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Все затраты, млн тенге	14399,8	21527,4	24799,9	26835,5	34761,6	38988,7
1. Внутренние текущие затраты, всего	13863,3	20036,0	23236,0	25737,5	33685,9	38538,0
затраты на оплату труда	6902,1	8841,6	10925,1	12963,4	15251,5	18453,2
отчисления в бюджет	867,9	1800,4	2144,2	2 627,8	2799,5	2 794,4
затраты на оборудование	895,7	2262,5	2520,9	1483,3	2457,1	884,7
прочие текущие затраты	5197,6	7131,5	7645,8	8 663,0	13177,8	16405,7
2. Капитальные затраты, всего	716,5	1491,4	1563,9	1 098,0	1075,7	450,7
Все затраты, %	100	100	100	100	100	100
1. Внутренние текущие затраты, всего	95,02	93,07	93,7	95,9	96,9	98,8
затраты на оплату труда	47,93	41,07	44,05	35,74	43,87	47,32
отчисления в бюджет	6,03	8,36	8,65	9,79	8,05	7,17
затраты на оборудование	6,22	10,51	10,16	5,53	7,07	2,27
прочие текущие затраты	36,09	33,12	30,82	32,28	37,91	42,07
2. Капитальные затраты, всего	4,98	6,93	6,31	4,09	3,1	1,16

* Рассчитано автором по: Наука и инновационная деятельность Казахстана 2004-2008: Стат. сб. / Агентство по статистике РК. Астана, 2009. С.45,48.

Анализируя данные таблицы, мы видим, что основная масса внутренних затрат приходится на оплату труда и прочие затраты: доля этих затрат в общей структуре затрат на исследования и разработки составляла последовательно по годам от 84 до 89%. На фоне увеличения внутренних текущих затрат явственно прослеживается динамика снижения доли капитальных затрат – от 6,93 до 1,16% с 2007 к 2009 году соответственно, чего явно недостаточно для развития материально-технической базы исследований в научно-технической сфере – это самый низкий показатель за исследуемый период. Фактический же общий отрицательный прирост затрат на оборудование за период с 2005 по 2009 год составил 8,24%.

Если анализировать внутренние текущие затраты на исследования и разработки по видам работ по Республике Казахстан (табл. 4), то можно отметить снижение доли затрат на фундаментальные и прикладные исследования в общей структуре внутренних текущих затрат на исследования и разработки. Усредненное за период 2004–2008 гг. распределение НИОКР по видам исследований (фундаментальные, прикладные исследования и разработки) имеет вид: 14,06, 38,08 и 31,4% соответственно.

В последние шесть лет соотношение изменилось в сторону уменьшения числа фундаментальных работ (с 20,27 до 11,11%) и увеличения прикладных исследований (с 23,13 до 44,76% и последовательным уменьшением в 2007 году до 37,66%), тогда как в развитых странах оно постоянно: в США составляет 13:22:65, в Японии – 13:21:66.

В Казахстане, по данным госрегистрации, удельный вес разработок остается ниже уровня, принятого

в развитых странах, более чем в десять раз. Изменилось соотношение видов работ и в России в пользу прикладных исследований в ущерб разработкам. Последние, самые дорогостоящие, уменьшились наиболее резко – на 70% [6.С.27].

За последние годы стала очевидной отсталость материально-технической базы институтов Республики Казахстан в области аналитического, лабораторного и компьютерного обеспечения и т.д., что не позволяет отечественным ученым и инженерам работать в конкурентном, рыночном пространстве. Многие институты, специализировавшиеся на выполнении конструкторских и проектно-технологических работ, за последнее десятилетие практически прекратили свою деятельность. Экспериментальная база, учебно-исследовательское оборудование, аппараты и приборы в учебных заведениях физически и морально устарели на 20-30 лет или амортизированы на 50-100%, а в лучших, самых передовых университетах и научно-исследовательских организациях – на 8–11 лет. Пороговый уровень данного показателя – 7 лет. Если учесть, что в развитых странах технологии в наукоёмких производствах сменяют друг друга через каждые 6 месяцев, реже – через 2 года, то такое отставание может стать необратимым.

Таблица 4

Внутренние текущие затраты на исследования и разработки по видам работ*, млн тенге

Год	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Внутренние текущие затраты, всего	13863,3	20036,0	23236,0	25737,5	33685,9	38538,0	40414,5
из них							
фундаментальные исследования	2810,1	3089,8	3744,4	3468,1	3846,5	4107,5	4 490,4
прикладные исследования	3206,9	7249,0	9354,3	9692,2	13320,2	17373,5	18088,0
научно-технические разработки	7846,3	9697,2	7944,0	5454,8	6704,9	6 009,4	9536,4
научно-технические услуги	-	-	2193,3	7122,4	9814,3	7 599,6	8299,7
В процентах к итогу							
Внутренние текущие затраты, всего	100	100	100	100	100	100	100
из них							
фундаментальные исследования	20,27	15,42	16,11	13,47	11,41	10,7	11,11
прикладные исследования	23,13	36,18	40,26	37,66	39,54	45,08	44,76
научно-технические разработки	56,6	48,4	34,19	21,19	19,9	15,6	23,6
научно-технические услуги	-	-	9,44	27,67	29,13	19,7	20,54

* Рассчитано автором по: Наука и инновационная деятельность Казахстана 2004-2008: Стат. сб. / Агентство по статистике РК.- Астана, 2009. С.46; Наука и инновационная деятельность Казахстана 2005-2009: Стат. сб. / Агентство по статистике РК. Астана, 2010. С.35-39.

В Российской Федерации в последние годы отмечается рост расходов на технологические инновации, в основном на приобретение машин и оборудования. В 2006 г. доля расходов на технологические инновации составила 56%. В то же время доля машин и оборудования, не превышающих по возрасту двух лет, составляет всего 20%, а современных приборов со сроком эксплуатации менее 5 лет – 10–12%, (в Японии и США они списываются через 5 лет эксплуатации) [6.С.27].

Для выхода из создавшегося положения необходимы в ближайшие годы кардинальные меры по обновлению материальной базы науки. Одним из возможных путей преодоления неблагоприятной ситуации, по мнению большинства исследователей, может стать концентрация ресурсов ведущих научных центров, создание сети центров коллективного пользования уникальным оборудованием, взаимовыгодного сотрудничества с предпринимательскими структурами, которые заинтересованы в научных разработках.



Рис. 3. Внутренние затраты на исследования и разработки по видам работ за 2004 и 2010 гг. (в % к итогу)

В развитых странах фундаментальным исследованиям оказывается всесторонняя поддержка, и они являются предметом постоянной заботы правительства. Страны, не имеющие таких исследований или не уделяющие им должного внимания, неизбежно обречены на отставание, так как современное инновационное развитие – это процесс постоянного освоения нового научного знания, находящегося на передовых рубежах, и чтобы его получить, нужна фундаментальная наука, свободная от диктата рынка.

При всей значимости финансовой и материально-технической составляющих инновационного потен-

циала главное место, по нашему мнению, в нем занимают **кадры специалистов и ученых**, обеспечивающих инновационный процесс новыми знаниями, идеями, изобретениями, ноу-хау, новыми технологиями.

Таблица 5

Динамика численности персонала, занятого исследованиями и разработками в РК*

Год	2006	2007	2008	2009	2010
Численность персонала, занятого исследованиями и разработками (на конец года)	19563	17774	16304	15793	17021
В том числе исследователи	12404	11524	10780	10095	10870
из них					
доктора наук	1157	1166	1191	1340	1347
кандидаты наук	3147	3058	2861	2756	3041

* Источник: Наука и инновационная деятельность Казахстана 2004-2009: Стат. сб. /Агентство по статистике РК. Астана, 2010. С. 17.

Именно этой составляющей инновационного потенциала должно быть уделено главное внимание в стратегии его поддержки, развития и преобразования.



Рис. 4. Структура персонала, занятого разработками и исследованиями в РК

Воспроизводство кадров высшей квалификации в Казахстане остается основной проблемой кадрового потенциала как с количественной, так и с качественной стороны. При оценке достаточности или избыточности научных кадров для нужд страны обычно учитывают степень их воспроизводства. Согласно данным Агентства по статистике РК, в республике в 2000 г. научно-технической деятельностью были заняты 948 докторов и 2797 кандидатов наук. В 2010 году их число возросло до 1018 и 2834 соответственно. Тем не менее, за 20 лет возрастная убыль докторов наук составила от 80 до 90%, кандидатов – от 60 до 70%. С учетом фактора естественной убыли (за 7 лет на 21 и 17 % для докторов и кандидатов соответственно) приток в сферу науки составил 562 доктора и 3571 кандидат наук [6.С. 48].

Важным индикатором воспроизводства научно-технического потенциала является его возрастная характеристика. В изменении возрастного показателя кандидатов наук в 2005 г. наблюдается положительная динамика в возрастной группе моложе 30 лет. Их доля увеличилась с 22,9 до 25,9%. В возрастной группе до 40 лет также произошло увеличение с 41,6 до 42,5%, до 50 лет – снижение с 25,9 до 21,9%, 60 лет и выше увеличение с 8,9 до 9,4%.

В возрастных группах 41–50 лет доля защищающихся докторов почти не изменилась (39,6%), 51–60 лет произошло уменьшение с 35,9 до 32,6%. В группе свыше 60 лет наблюдается увеличение на 2,0%. В 2005 году средний возраст защитившихся кандидатов наук составил 36,0 лет, докторов – 49,2 года. В РФ средний возраст кандидата наук – 34 года, доктора – 49 лет.

В России самую многочисленную возрастную группу исследователей по-прежнему составляют работники в возрасте от 40 до 60 лет – 50% (2004 г., в США в 1999 г. их было не более 20%), старше 60 лет – 22% (в США – 6%). Доли докторов и кандидатов наук до 40 лет составляют соответственно 2 и 17% (РФ), 1 и 25% (РК) (2007 г.).

Тем не менее, проблема молодежи в науке сохраняет актуальность. Кардинальное решение проблем омоложения науки возможно не только, а может, и не столько путем реализации отдельных программ поддержки молодых, а в контексте изменения ситуации в науке целом, включая организационные, мотивационные, материальные, социальные аспекты.

Продуктивность научного труда во многом определяется также **качеством информационного обеспечения исследований и разработок.**

В отличие от материального производства специфика инновационной деятельности предполагает для обеспечения доступа к информации существование ассоциативной структуры, проявляющейся в деятельности формальных и неформальных объединений (институтов, обществ, советов, ассоциаций, комиссий, конгрессов, семинаров и др.) и информационных каналов (издательств, журналов, сборников, баз данных и т.д.). Информационная составляющая играет важное значение при формировании инновационного потенциала, так как получение данных из банка в 2–3 раза выгодней, чем проведение нового исследования.

Республика Казахстан по-прежнему уступает промышленно развитым странам по развитию научно-технической информации. Запаздывание научно-технической информации на 2–3 года сдвигает оценку результатов научно-технических разработок на одно поколение техники назад.

Потенциал и **объем научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических разработок** характеризует эффективность научной деятельности.

В последние годы в Казахстане проводится масштабная работа по приведению национального патентного законодательства в соответствие с современными мировыми требованиями. За прошедшее после 1997–1999 гг. время значительно возросла патентуемость работ по биотехнологии и изменился ее ранг среди рассматриваемых отраслей с 5-го на 2-й после химии, а также энергетики, при этом примерно вдвое сократилась патентная отдача работ по химии и нефтехимии, агропромышленному комплексу, который занимает последнее место в рассматриваемом ряду отраслей, хотя НИОКР аграрного профиля ведутся широким фронтом и число отчетов по ним составляет четверть в общем фонде. То есть в данном случае исследовательская (научная) и патентная активность не совпадают, хотя в литературе утвержда-

ется четкая зависимость между ними [8.С.89].

Проведенный анализ свидетельствует о том, что за последнее десятилетие наиболее критические изменения отечественного научного потенциала произошли в кадровой составляющей, несущей персонафицированное творческое начало науки.

Не менее важным фактором торможения выступает отсутствие эффективной системы внедрения полученных научных результатов в промышленность, создания наукоемких технологий и производств. Главной причиной этого является отсутствие прямой связи «наука – производство», механизмов и инфраструктуры передачи научных достижений в реальный сектор экономики. Сюда же относится коммерческая незавершенность большинства научных разработок, которые, как правило, не доведены до уровня рыночного товара.

Одним из возможных путей преодоления неблагоприятной ситуации, вероятно, может быть концентрация ресурсов ведущих научных центров, создание сети центров коллективного пользования уникальным оборудованием, взаимовыгодного сотрудничества с предпринимательскими структурами, которые заинтересованы в научных разработках. Очевидно, что здесь необходимо государственное вмешательство в виде издания специальных законодательных актов, стимулирующих или принуждающих компании создавать проектно-конструкторские бюро, внедряющие результаты научно-исследовательских разработок. При этом конкуренция должна быть основой рыночных отношений, складывающихся в научных отраслях.

Существует также возможность привлечения ведущих международных организаций по развитию из США, Франции, Германии, Скандинавских стран, Японии, России, Испании, Канады и Австралии для создания научно-исследовательских центров, управление которыми напрямую бы осуществлялось донорами. Работа таких национальных исследовательских центров должна быть нацелена на продвижение исследований в каком-либо определенном направлении, а также на создание в процессе исследований своей интеллектуальной собственности.

Необходимо дальнейшее совершенствование системы управления наукой с целью концентрации финансовых средств, кадрового и научно-технического потенциала на приоритетных направлениях науки, и в первую очередь – на обеспечение нужд эффективного развития реального сектора экономики страны, особенно в тех отраслях, где Казахстан уже имеет хорошие результаты; создание условий для трансферта и коммерциализации результатов научных разработок и введения их в хозяйственный оборот. Кроме того, необходимо подчеркнуть, что темп финансовых инвестиций в НИОКР должен быть совместимым с темпами развития человеческих ресурсов, которые могут эффективно использовать инвестиции.

По нашему мнению, Республика Казахстан, наряду с Российской Федерацией, имеет необычные возможности для развития и использования науки и технологий, чтобы увеличить глобальную экономическую конкурентоспособность при увеличении экономического и социального благосостояния населения.

Список литературы

1. Давыдова, Л.В. Инновации как фактор экономического роста / Л.В. Давыдова, С.А. Ильминская // Финансы и кредит. 2005. № 17 (185).
2. Плотников, А.Н. Механизм взаимодействия участников инвестиционно-инновационной сферы / А.Н. Плотников, Г.Н. Жиц; Саратов. гос. техн. ун-т. Саратов: [б.и.], 2002.
<http://www.vesti.ru/doc.html?id=414734>
3. OECD Science, Technology and Industry: Outlook 2009.
4. Наука России в цифрах: 2009. М.: ЦИСН, 2009.
5. Отчет Национального центра научно-технической информации РК и Национальной Академии наук США о проведенной государственной научно-технической экспертизе отечественного научно-технического потенциала и приоритетных направлений развития науки (аудит науки). Алматы, 2011.
7. <http://www.tvscience.ru/2011/04/12/krizis-ili-razruха-v9>: Стат.сб. / Агентство по статистике РК.- Астана, 2011.

Bibliography

1. Davydova, L.V. Innovations as a factor of economic growth / L. Davydova, S. Ilminsky // Finance and credit.-2005. № 17 (185).
2. Plotnikov, A.N. The mechanism of interaction between participants of investment and innovation sphere / AN Plotnikov, GN Zhits, Saratov State Technical University. Saratov: [BI], 2002.
<http://www.vesti.ru/doc.html?id=414734>
3. OECD Science, Technology and Industry: Outlook 2009.
4. Russian Science in Figures: 2009. M.: CISN, 2009.
5. Report of the National Centre for Scientific and Technical Information of RK and National Academy of Sciences of the United States to hold the state scientific and technical expertise of the national scientific and technological capacity and priority directions of science (scientific audit). Almaty, 2011.
7. <http://www.tvscience.ru/2011/04/12/krizis-ili-razruха-v9>: Stat.sb. / Statistics Agency of RK in Astana. 2011.

УДК 332.05: 005

Пиньковецкая Ю.С.

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБОРОТА МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В статье приведены производственные функции для малых предприятий субъектов Российской Федерации. Эти функции отражают зависимость оборота малых предприятий от двух факторов: инвестиций в основной капитал и заработной платы работников за 2007-2009 годы. Полученные функции могут использоваться в качестве инструмента анализа и планирования малого предпринимательства.

Ключевые слова: малые предприятия, производственная функция, оборот, инвестиции, заработная плата.

The article presents the production functions for small enterprises of the regions in the Russian Federation. The functions reflect the dependence of the small enterprises turnover from two factors: investment in fixed capital and wage of employees for 2007-2009 years. The observed functions can be used as a tool for analysis and planning of small entrepreneurship.

Key words: small enterprises, production function, turnover, investment, wage.

Малое предпринимательство, как показывает опыт зарубежных стран, является одним из основных элементов экономики. В настоящее время в России 1,594 млн малых предприятий. В малых предприятиях работает около 16,16% занятого в стране населения. Объем производимой предприятиями продукции составляет 15% ВВП страны. Вместе с тем, этот сектор экономики не получил еще в нашей стране достаточного развития. Именно поэтому актуальным представляется разработка инструментов анализа состояния малого предпринимательства и обоснования наиболее эффективных направлений его совершенствования. Одним из таких инструментов, на наш взгляд, являются производственные функции.

К настоящему времени за рубежом и в нашей стране накоплен большой опыт разработки производственных функций для различных объектов [1]. Вместе с тем, при моделировании деятельности малых предприятий в нашей стране производственные функции не использовались.

Критерии отнесения к малым предприятиям были установлены в федеральном законе «О развитии малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации» от 24.07.07 года N209-ФЗ. Основным критерием является численность работников малого предприятия, которая не должна превышать сто человек.

В процессе исследования анализировалась зависимость объема производства малых предприятий от широкого круга возможных факторов. Для малых предприятий объем производимой продукции оценивается суммарным оборотом, который складывается

из стоимости отгруженных товаров собственного производства, выполненных собственными силами работ и услуг, а также выручки от продажи приобретенных на стороне товаров [2].

В качестве факторов, оказывающих наибольшее влияние на оборот малых предприятий, как показал проведенный анализ, целесообразно рассматривать инвестиции в основной капитал и заработную плату работников. Использование такого фактора, как инвестиции, определяется рядом существенных аспектов:

– инвестиции в малом бизнесе нацелены на очень быструю отдачу. Такое положение характерно для большинства малых предприятий и является спецификой этой сферы экономики;

– в малых предприятиях отсутствуют крупные объемы капитальных вложений (дорогостоящая недвижимость, машины и механизмы, доменные печи, нефтяные скважины, инфраструктурные объекты, крупные сооружения и комплексы), которые эксплуатируются длительные сроки. Для малых предприятий основные фонды представляют собой элементы оборудования, средства обработки информации, инструменты, автомобили и другие аналогичные элементы, которые используются очень интенсивно в течение небольшого срока, а затем, как правило, морально устаревают или сильно изнашиваются и не подлежат восстановлению;

– амортизация основных фондов происходит по ускоренному методу, когда большинство приобретенного оборудования, производственных систем и инвентаря списывается по окончании одного года их использования;

– оборудование и технологии приобретаются, как правило, не одномоментно, а в рассрочку и по лизинговым схемам;

– малые предприятия в России получили развитие относительно недавно и их основные фонды находятся в процессе формирования;

– учет инвестиций достоверно оценивает размер вложенного капитала.

Возможность и целесообразность использования в качестве одного из факторов производственной функции инвестиций обоснована во многих публикациях по этой проблематике. В работе В.А. Бессонова и С.В. Цухло [3] указано, что инвестиции более приемлемы исходя из неполного использования основных фондов и изменения системы экономической статистики в последнее время. Исследования, связанные с построением производственных функций, учитывающие инвестиции в качестве одного из факторов производства, проводил Е.Е. Гавриленков [4].

Вторым фактором, влияющим на оборот предприятий, является заработная плата всех работников малых предприятий. Заработная плата работников представляет комплексный показатель, который учитывает сложившиеся в конкретном субъекте Российской Федерации уровень цен, степень занятости населения и другие социальные аспекты.

В качестве исходных данных могут использоваться как абсолютные значения показателей, так и относительные (индексы). Для характеристики малого бизнеса более приемлемо использование абсолютных величин, поскольку малые предприятия в нашей стране появились относительно недавно и динамика, отражаемая индексами, не всегда корректна. По этой же причине для построения производственных функций не могут использоваться динамические ряды (данные по годам). Кроме того, за последние годы изменялись критерии отнесения к малым предприятиям, имели место значительные инфляционные колебания. Поэтому анализ статистических данных за 15 лет, необходимых для проведения корректных исследований, практически не возможен.

По указанным выше причинам при проведении исследований в качестве исходных данных использовались так называемые одновременные наблюдения, то есть показатели, характеризующие оборот малых предприятий за календарный год. Отметим, что этот подход обладает рядом преимуществ по сравнению с рассмотрением динамических рядов, о чем подробно сказано, например, в работе В.С. Мхитаряна и М.Ю. Архипова [5]. В ней указано, что использование метода одновременных наблюдений не требует учета изменения цен, затрат факторов производства, соотношений, в которых они могут замещать друг друга, параметров эффективности, вариативности административного управления и изменчивости технологических процессов.

Проведенный анализ показал, что в качестве объекта при построении производственных функций целесообразно рассматривать совокупности малых предприятий, функционирующих в каждом из субъектов (республик, краев, областей) Российской Федерации, то есть сгруппированных по территориальному признаку. Такой подход обусловлен следующими соображениями:

– ниша, занимаемая малым бизнесом во всех субъектах, достаточно однородна;

– законодательство, действующее на территории субъектов Российской Федерации, одинаковое и определяется законами Российской Федерации в части, касающейся малых предприятий. Это же относится ко всем нормативным актам федеральных и региональных министерств и ведомств;

– в субъектах Российской Федерации присутствуют малые предприятия различных отраслей, находятся их рынки сбыта. Малое предпринимательство, как правило, имеет замкнутый цикл внутри соответствующего региона;

– вопросы поддержки и развития малого предпринимательства целесообразно решать на уровне субъектов страны;

– при построении производственных функций использовались стоимостные показатели, что во многом нивелирует особенности отдельных регионов, отраслей и конкретных малых предприятий. Так, заработная плата на Дальнем Востоке и в Сибири выше, но и стоимость продукции (оборот малых предприятий) в этих регионах также более высокая.

Разработка производственных функций производилась на основе статистических данных Федеральной службы государственной статистики [6–8] по всем субъектам Российской Федерации.

В процессе исследований использовались методы логического, экономико-статистического, кластерного, системного анализа, математической статистики и эконометрики. Для решения поставленных задач и обработки информации применены компьютерные программы «Statistica», «Microsoft Excel», «Mathcad».

На основе статистических данных за 2007, 2008 и 2009 годы были построены три производственные функции, описывающие оборот малых предприятий в субъектах страны за указанные годы.

Производственная функция, характеризующая совокупность малых предприятий в субъектах Российской Федерации за 2007 год, имеет следующий вид [9]:

$$y_{pф2007}(x_1, x_2) = 7,766 \times x_1^{0,139} \times x_2^{0,930}, \quad (1)$$

где $y_{pф2007}$ – оборот малых предприятий, млрд руб.;

x_1 – инвестиции в основной капитал малых предприятий, млрд руб.;

x_2 – заработная плата работников малых предприятий, млрд руб.

Производственная функция за 2008 год приведена ниже:

$$y_{pф2008}(x_1, x_2) = 6,966 \times x_1^{0,136} \times x_2^{0,981}. \quad (2)$$

Соответственно производственная функция, характеризующая оборот малых предприятий, за 2009 год имеет следующий вид:

$$y_{pф2009}(x_1, x_2) = 6,659 \times x_1^{0,132} \times x_2^{0,961}. \quad (3)$$

Условные обозначения в приведенных уравнениях аналогичны уравнению (1).

Проверка полученных уравнений с использованием методов логического и статистического анализа, показала, что все производственные функции обладают высоким качеством и хорошо аппроксимируют исходные данные на всем диапазоне изменения значений факторов.

Итоги проверки качества производственных функций

Номер функции	Коэффициент детерминации	Коэффициент корреляции	Критерий Фишера-Снедекора
(1)	0,925	0,962	1172,41
(2)	0,939	0,969	599,95
(3)	0,949	0,974	718,45
(4)	0,892	0,944	317,08
(5)	0,932	0,966	530,52

Сравнение трех полученных производственных функций позволило сделать следующие важные для исследования закономерностей и тенденций развития малого бизнеса выводы:

- доказана возможность описания зависимости оборота от указанных выше двух факторов с использованием степенной производственной функции;
- показано, что зависимость оборота от двух рассмотренных факторов является устойчивой и не зависит от размера, географического положения, наличия ресурсов конкретного субъекта страны;
- все три функции схожи между собой, небольшие различия имеются в значениях коэффициентов уравнений, а также величинах степеней при факторах. Это показывает на наличие устойчивых тенденций и закономерностей в развитии малого предпринимательства;
- сумма степеней во всех уравнениях больше единицы, что говорит об имеющем место возрастающем эффекте масштаба. То есть при одновременном возрастании двух факторов оборот увеличивается более высокими темпами;
- фактор заработной платы работников влияет на оборот малых предприятий в большей степени, чем фактор инвестиций в основной капитал.

Сопоставление полученных производственных функций показывает, что значения коэффициента функций уменьшается ($7,766 > 6,966 > 6,659$). Наибольшее значение коэффициента соответствует 2007 году, а наименьшее 2009 году. Такая тенденция обусловлена снижением оборота малых предприятий, вызванного экономическим кризисом в 2008 и 2009 годах.

В составе малых предприятий, как известно, выделяются микропредприятия (с численностью работников до 15 человек включительно). Учитывая это, были построены две производственные функции, характеризующие совокупности микропредприятий и малых предприятий с численностью работников свыше 15 человек.

Построение функций производилось аналогично изложенному выше. Производственные функции были построены по статистическим данным, характеризующим совокупность малых предприятий всех субъектов Российской Федерации за 2009 год.

Производственная функция, отражающая зависимость оборота микропредприятий субъектов страны от рассматриваемых факторов, имеет следующий вид:

$$U_{рф2009\text{микро}}(x_1, x_2) = 8,85 \times x_{1\text{микро}}^{0,14} \times x_{2\text{микро}}^{0,888}, \quad (4)$$

где $U_{рф2009\text{микро}}$ – оборот микропредприятий, млрд руб.;
 $x_{1\text{микро}}$ – инвестиции в основной капитал микропредприятий, млрд руб.;

$x_{2\text{микро}}$ – заработная плата работников микропредприятий, млрд руб.

Производственная функция по малым предприятиям (без микропредприятий) с численностью работников свыше 15 до 100 человек имеет следующий вид:

$$U_{рф2009\text{безмикро}}(x_1, x_2) = 6,511 \times x_{1\text{безмикро}}^{0,111} \times x_{2\text{безмикро}}^{0,964}, \quad (5)$$

где $U_{рф2009\text{безмикро}}$ – оборот малых предприятий с численностью работников свыше 15 человек, млрд руб.;

$x_{1\text{безмикро}}$ – инвестиции в основной капитал малых предприятий с численностью работников свыше 15 человек, млрд руб.;

$x_{2\text{безмикро}}$ – заработная плата работников малых предприятий с численностью работников свыше 15 человек, млрд руб.

Как и для функций (1), (2), (3), проверка функций (4), (5) показала, что они обладают высоким качеством и хорошо аппроксимируют исходные данные.

Анализ функций (4) и (5) позволил сделать следующие выводы:

- предложенный автором методический подход к построению производственных функций может быть применен для совокупности малых предприятий различного размера;
- обе производственные функции схожи между собой. Различия между ними невелики, значения коэффициентов отличаются менее чем на 20 %, а показателей степеней менее чем на 10 %;
- сумма степеней в уравнениях больше единицы, что говорит об имеющем место возрастающем эффекте масштаба;
- фактор заработной платы работников влияет на оборот малых предприятий в большей степени, чем фактор инвестиций в основной капитал.

В таблице приведены значения критериев для всех построенных функций.

Из таблицы видно, что коэффициенты корреляции и детерминации достаточно близки к наилучшему значению, равному единице, а расчетные значения критерия Фишера-Снедекора больше табличного, равного 3,15.

В процессе исследований была не только доказана возможность построения двухфакторных производственных функций, но и предложенный методический подход показал свою универсальность. Построены производственные функции для Российской Федерации по данным всех её субъектов за 3 года, а также в зависимости от размера малых предприятий. Все разработанные функции обладают близкими по значению коэффициентами, а также величинами степеней. Двумя основными факторами, влияющими на оборот малых предприятий в субъектах, выступают инвестиции в основной капитал и заработная плата работников.

На основе разработанных производственных функций были построены зависимости, отражающие взаимосвязь инвестиций в основной капитал и зара-

ботной платы работников (изокосты, изокванты). Кроме того, были построены оптимальные траектории расширения. Оптимальные траектории отражают наилучшие пропорции инвестиций в основной капитал и заработной платы для совокупности всех малых предприятий каждого субъекта страны.

Полученные в процессе исследования результаты являются актуальными. Такая информация может служить инструментом для анализа хозяйственной деятельности малых предприятий на муниципальном, региональном и федеральном уровнях, позволяет сформулировать научно обоснованные стратегии и перспективные планы развития этого важного сектора экономики. В текущей деятельности органов управления производственные функции могут использоваться для мониторинга состояния малого предпринимательства, обоснования эффективности инвестиций, формирования мероприятий поддержки деятельности малых предприятий.

Список литературы

1. Клейнер Г.Б. Производственные функции: Теория, методы, применение. М.: Финансы и статистика, 1986. 239 с.
2. Федеральная служба государственной статистики. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat/rosstatsite/main/publishing/catalog/statisticCollections/doc_1139841601359 (дата обращения: 18.02.2011).
3. Бессонов В.А., Цухло С.В. Проблемы построения производственных функций в российской переходной экономике // Анализ динамики российской переходной экономики. М.: Институт экономики переходного периода, 2002. С. 5-89.
4. Гавриленков Е.Е. Экономический рост и долгосрочная стратегия развития России // Российская экономика: опыт трансформации 1990-х годов и перспективы развития. М.: ГУ-ВШЭ, 2000. С. 55-78.
5. Мхитарян В.С., Архипова М.Ю. Эконометрика. М.: Московский международный институт эконометрики, информатики, финансов и права, 2003. 69 с.
6. Малое предпринимательство в России. 2008: статистический сборник. М.: Росстат, 2008. 164 с.
7. Малое и среднее предпринимательство в России. 2009: статистический сборник. М.: Росстат, 2009. 151 с.
8. Малое и среднее предпринимательство в России. 2010: статистический сборник. М.: Росстат, 2010. 172 с.
9. Пиньковецкая Ю.С. Производственная функция для решения задач управления малым бизнесом в регионах Российской Федерации // Вестник Московского университета. Сер. 21: Управление (государство и общество). 2010. № 1. С. 79-88.

Bibliography

1. Kleiner G.B. Production functions: Theory, methods, applied. M.: Finance and statistic, 1986. 239 p.
2. Federal Agency of the state statistics. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat/rosstatsite/main/publishing/catalog/statisticCollections/doc_1139841601359. Accessed: 18 February 2011 year.
3. Bessonov V.A., Cyhlo C.V. Problems of construction production functions in the Russian transitional economy // Analysis of dynamics in the Russian transitional economy. M.: Institute of economy in the transitional period, 2002. pp. 5-89.
4. Gavrilin E.E. Economic growth and the long-term strategy development of Russia // Russian economy: experience of transformation 1990 years and prospect of development. M.: GY-VHE, 2000. pp. 55-78.
5. Mhitaran V.C., Arhipova M.J. Econometrics. M.: Moscow International Institute of econometrics, informatics, finance and law, 2003. 69 p.
6. Small entrepreneurship in Russia. 2008: Statistical book. M.: Rosstat, 2008. 164 p.
7. Small and medium entrepreneurship in Russia. 2009: Statistical book. M.: Rosstat, 2009. 151 p.
8. Small and medium entrepreneurship in Russia. 2010: Statistical book. M.: Rosstat, 2010. 172 p.
9. Pinkovetskaya J.S. The production function for solve problems of management in small business in the regions of Russian Federation // Vestnik of Moscow university. Serial 21: Management (state and society), 2010. № 1. pp. 79-88.

УДК 314.143

Витик С.В.

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ МНОГОУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЫ СТИМУЛИРОВАНИЯ РЕПРОДУКТИВНОГО ТРУДА

В статье раскрывается сущность комплексного подхода к стимулированию репродуктивного труда с его реализацией в многоуровневой системе. Дается характеристика следующим уровням стимулирования этого вида труда: государственный, региональный и уровень предприятия.

Ключевые слова: репродуктивный труд, стимулирование труда, системный подход

Article reveals the essence of a comprehensive approach to stimulating reproductive work with its realization on a multi-level system. We consider a systematic approach to the levels at which the stimulation is carried out: state, regional and enterprise level.

Key words: reproductive work, work stimulation, systems approach

В связи со сложной демографической ситуацией, сложившейся в нашей стране, уже существующим и прогнозируемым на ближайшие десятилетия недостатком трудовых ресурсов, в последние годы в России как на государственном, так и на региональных уровнях реализуются определенные меры, направленные на стимулирование рождаемости. При этом предприятие как главный потребитель человеческого капитала также должно быть задействовано в вопросах стимулирования рождаемости и репродуктивной активности работников.

По нашему мнению, к стимулированию репродуктивного труда целесообразно применять системный многоуровневый подход, который бы учитывал три уровня этого стимулирования: государственный, реги-

ональный и уровень предприятия. Применение системного подхода в данном случае обусловлено наличием множества элементов в совокупности отношений и связей между ними. В рамках системного подхода стимулирование репродуктивного труда можно рассматривать как элемент рациональной организации репродуктивного труда, включающей в себя также целеполагание, мотивацию и, как следствие, активизацию или повышение показателей репродуктивного труда. Взаимосвязь этих элементов представлена на рисунке.

Использование системного подхода также позволяет проследить взаимосвязь обеспечивающих подсистем (кадровой, научно-методической, правовой и финансовой) на выделенных уровнях многоуровневой системы.

Правовая подсистема на уровне государства сегодня представлена только Министерством здравоохранения и социального развития РФ, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере здравоохранения, социального развития и прав граждан на труд. Необходимо, чтобы Министерство здравоохранения и социального развития, являясь федеральным органом исполнительной власти, учитывало потребности граждан и государства в качественной реализации репродуктивного труда, для чего целесообразно создание единой специализированной профильной общегосударственной структуры, отвечающей за семейную, демографическую политику с акцентом на вопросах стимулирования репродуктивного труда.

Поддержкой на региональном уровне могут стать комитеты и ведомства, занимающиеся стимулированием и поддержкой репродуктивного труда с учетом анализа региональной специфики.

Правовая подсистема на уровне предприятия должна обеспечивать разработку и соблюдение нормативной и законодательной базы для создания возможностей качественной реализации репродуктивного труда работниками предприятия, используя коллективный договор как правовой акт, регулирующий социально-трудовые отношения.

Научно-методическая подсистема на всех уровнях призвана обеспечить разработку форм и методов проведения исследований в вопросах изучения возможностей стимулирования репродуктивного труда. Так, на государственном уровне целесообразно наличие единой специализированной структуры, систематизирующей существующие показатели рождаемости и смертности с предлагаемыми методами и инстру-

ментами по стимулированию репродуктивного труда для выработки конкретных предложений по увеличению количественных и качественных характеристик человеческого капитала.

На региональном уровне необходимо проводить исследовательские работы, учитывающие региональную специфику (национальные, вопросы вероисповедания и т.д.) для создания практических возможностей стимулирования репродуктивного труда.

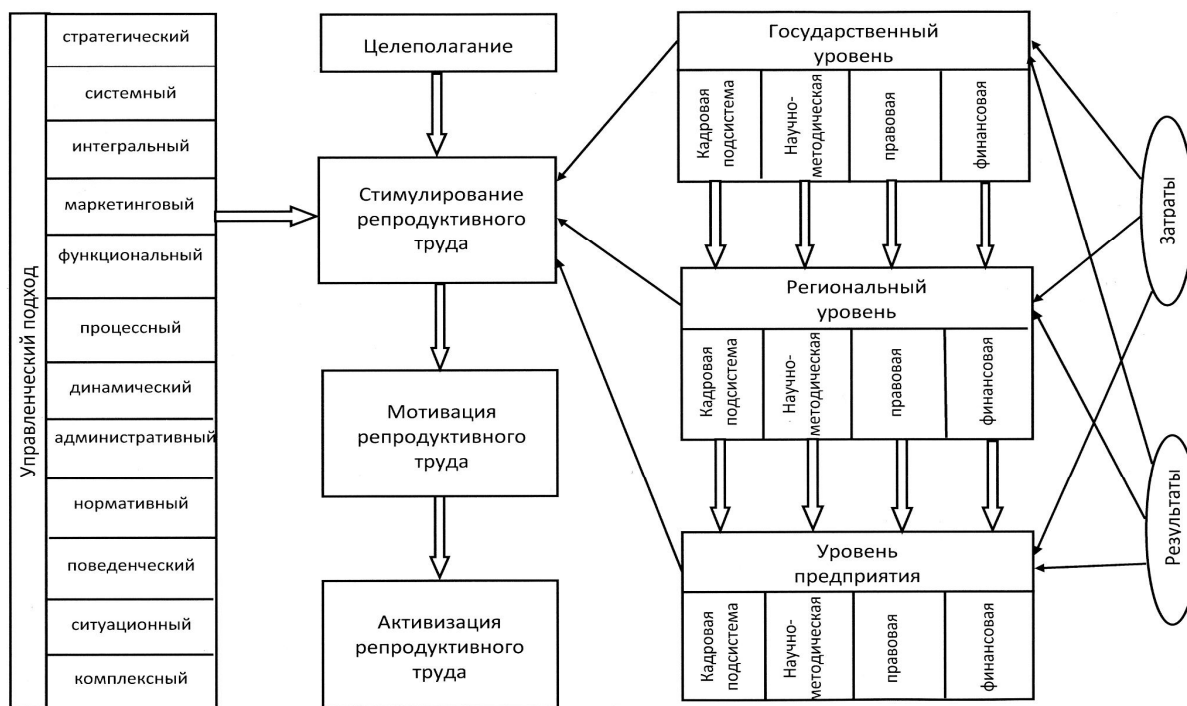
На уровне предприятия научно-методическая подсистема, используя информацию по всем аспектам деятельности предприятия и обобщая опыт работы с персоналом, должна разрабатывать приемлемые направления стимулирования репродуктивного труда для своих работников [2].

Кадровая подсистема используется в стимулировании репродуктивного труда с целью воспроизводства ресурсов для труда.

На уровне государства необходим учет перспективных потребностей экономики в квалифицированных кадрах, для чего возможно создание специальных отделов по анализу показателей репродуктивной активности населения и стимулированию репродуктивного труда для обеспечения воспроизводства ресурсов для труда.

На региональном уровне отделам образования целесообразно корректировать направления подготовки в соответствии с перепроизводством одних и дефицитом других, учитывая особенности развития сферы промышленности и услуг данного региона.

Кадровая подсистема предприятия, нацеленная на обеспечение предприятия необходимыми кадрами в количественном и качественном выражении, должна стимулировать репродуктивные процессы с целью воспроизводства кадрового ресурса.



Взаимосвязь элементов многоуровневой системы стимулирования репродуктивного труда

Финансовая подсистема, являясь источником финансирования планов, программ и мероприятий по управлению ресурсами труда на всех уровнях, одновременно должна выступать и источником реализации программ по стимулированию репродуктивного труда. Финансовая подсистема на уровне государства представлена Фондом социального страхования РФ как специализированным финансово-кредитным учреждением при Правительстве РФ, а также региональными отделениями Фонда социального страхования.

На примере финансовой подсистемы целесообразно рассмотреть взаимодействие затрат на государственном, региональном уровнях и уровне предприятия с полученными результатами репродуктивного труда. Работодатель, внедривший репродуктивные программы на предприятии и осуществивший определенные затраты на них, получает в качестве результатов репродуктивного труда сокращение дней нетрудоспособности, связанных с заболеванием детей и, как следствие, сокращение потерь производительности труда и объема недополученной выручки. Вместе с этим, сокращение дней нетрудоспособности, связанной с заболеванием детей, ведет к сокращению затрат фонда социального страхования на оплату больничных листов работников по уходу за больным ребенком. Платежеспособный работодатель, имеющий значительный фонд оплаты труда и перечисляющий существенные страховые взносы государству, является источником финансовых средств, благодаря которому возможно перераспределение денежных средств предприятиям, не осуществляющим доста-

точные перечисления в фонд социального страхования, но работники которого также нуждаются в средствах фонда социального страхования для оплаты листов нетрудоспособности. Таким образом, затраты предприятия на внедрение репродуктивных программ, с одной стороны (для работодателя), окупаются результатами в виде увеличения производительности труда и сокращения объема недополученной выручки, с другой стороны (для государства), проявляются результатами в виде дополнительного источника средств на нужды социального страхования работников других предприятий, осуществляемых посредством Фонда социального страхования.

Таким образом, в результате координации действий законодательных и исполнительных органов власти на федеральном и региональных уровнях с системой управления трудовыми процессами на предприятии возможно достижение системного эффекта в виде стимулирования репродуктивного труда для обеспечения потребностей экономики и общества в трудовых ресурсах.

Список литературы

1. Основы менеджмента / под ред. А.И. Афоничкина. СПб. : Питер, 2007. 528 с.
2. Управление персоналом: учебник для вузов / под ред. Т.Ю.Базарова, Б.Л.Еремина. М.: Юнити, 2002. 438 с.

Bibliography

1. Principles of Management / Ed.A.I. Afonichkina. SPb. : Peter, 2007. 528 p.
2. Personnel management: a textbook for high schools / ed. T.Y.Bazarov, B.L.Eremin. Moscow: Unity, 2002. 438 p.

ПЕДАГОГИКА И ПСИХОЛОГИЯ

УДК 378.016:74

Семенова О.А.

ВЛИЯНИЕ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ НА РАЗВИТИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ СТУДЕНТОВ В ГРАФИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Статья посвящена проблеме формирования и развития профессиональной направленности студентов в графической деятельности при изучении дисциплины «Инженерная графика». Автор рассматривает вопросы обучения инженерной графике на основе педагогических технологий и межпредметной связи инженерной графики с дисциплинами технического профиля. Такой подход способствует развитию интереса у студентов к предмету, что делает обучение осмысленным, мотивированным и профессионально-направленным.

Ключевые слова: педагогические технологии, профессиональная направленность, графическая деятельность, технология обучения в сотрудничестве, технология профессионального ориентирования, технология опережающего обучения.

The article deals with the problem of the forming and development of the students' professional trend in graphic activities while studying the subject «Engineering drawing». The author pays attention to the training of the engineering drawing on the basis of the pedagogical technologies and the connection with the technical subjects. Such approach promotes the students' interest to the subject and does the training intelligent, reasonable and helps the students to understand their future profession better.

Key words: pedagogical technologies, professional trend, drawing activities, training technology in co-operation, technology of professional orientation, technology of overtaking training.

В современных условиях, когда знания быстро устаревают, действенным способом для получения высокой квалификации и поддержания ее на профессиональном уровне является освоение новых педагогических технологий, формирующих активную роль обучаемого.

Педагогические технологии способствуют повышению эффективности обучения, воспитания и развития, повышению качества и сокращению времени учебно-воспитательного процесса. «Педагогическая технология – это проект и реализация системы последовательного развертывания педагогической деятельности, направленной на достижение целей образования и развития личности» [1].

В процессе графической деятельности при развитии профессиональной направленности от студента требуется не только понять, запомнить и воспроизвести полученные знания, но и уметь ими оперировать, применять в практической деятельности. И чем активнее протекает этот мыслительный и практический учебно-познавательный процесс, тем продуктивней результат.

Многолетний поиск в практической деятельности активных методов обучения привел нас к тому, что действенным способом активизации учебной деятельности студентов является сочетание следующих современных педагогических технологий: *технологии обучения в сотрудничестве*; *технологии обучения на опережающей основе* и *технологии профессионального ориентирования*. Интеграция этих трех педагогических технологий на конкретных уроках по инженерной

графике, в графической деятельности в процессе профессиональной подготовки студентов колледжа способствует развитию профессионально-графической ориентации, формированию потребности и готовности к профессиональному самосовершенствованию (рис. 1).

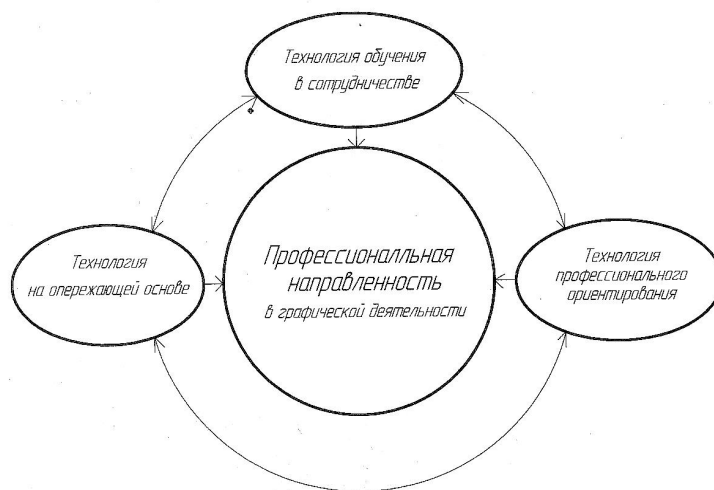


Рис. 1. Схема влияния педагогических технологий на развитие профессиональной направленности студентов графической деятельности

Идеи обучения в сотрудничестве на протяжении длительного времени развиваются усилиями многих педагогов во многих странах мира, ибо сама идея обучения в сотрудничестве чрезвычайно гуманна по своей сути и, следовательно, педагогична. В отличие от традиционной формы обучения, здесь основное внима-

ние уделяется вовлечению каждого студента в активную познавательную деятельность, формированию умений решать проблемы, развитию творческих способностей студентов, раскрытию их духовности.

Совместная деятельность преподавателя и студентов предполагает сотрудничество, под которым понимают, прежде всего, стиль отношений, исключающий какое-либо принуждение со стороны преподавателя и основывающийся на совместной деятельности педагога и студента в поиске решения учебных проблем.

Исходя из поставленной задачи обучения в сотрудничестве, мы пересмотрели традиционную планировку рабочих мест. На рис. 2 дана схема размещения рабочих мест студентов в кабинете инженерной графики на весь период обучения (четыре микрогруппы по четыре человека), что позволяет общаться в процессе совместной деятельности и видеть лица друг друга. Слушать такая планировка не мешает, и главное направление на таких уроках – общение и взаимодействие студентов друг с другом в ходе познавательной совместной и творческой деятельности.

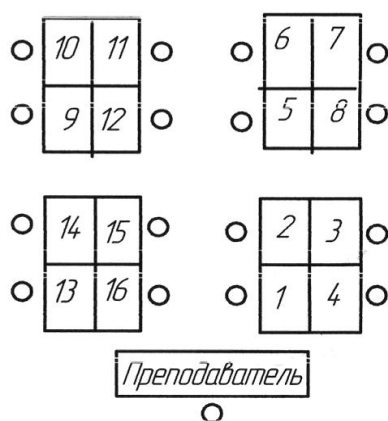


Рис. 2. Схема расположения рабочих мест студентов в аудитории

При коллективной работе с группами преподаватель приобретает роль организатора самостоятельной познавательной, исследовательской, творческой деятельности студентов. Он помогает студентам добывать нужные знания, критически осмысливать получаемую информацию, уметь делать выводы, аргументировать их, располагая необходимыми фактами, решать возникающие проблемы.

Обучение в сотрудничестве позволяет применять на занятиях инженерной графики различные формы организации учебного процесса. Они являются формой воссоздания предметного и социального содержания будущей профессиональной деятельности; решают «серьезные» задачи по развитию личности специалиста: студенты усваивают знания, умения в контексте профессии, приобретают профессиональную и социальную компетенцию.

Общие признаки коллективной работы:

1. Наличие у всех ее участников общей совместной цели.
2. Разделение труда, функций и обязанностей.
3. Сотрудничество и товарищеская взаимопомощь.
4. Наличие организации, привлечение участников работы к контролю.

5. Общественно полезный характер деятельности всех и каждого участника в отдельности.

6. Объем работы, выполняемый коллективом в целом всегда больше объема работы, выполняемой каждым его членом в отдельности или частью коллектива.

Так, например, при выполнении графического задания «Нанесение размеров» студентам выдается единое задание (начертить контур детали и проставить размеры в соответствии с правилами ГОСТ 2.307-68). Роли студентов распределяются таким образом:

1) одному студенту проследить за компоновкой изображения на поле чертежа;

2) второму – проверить качество вычерчивания линий чертежа;

3) третьему – проверить качество выполнения надписей чертежным шрифтом;

4) четвертому – проверить соответствие простановки размеров требованиям ГОСТ.

Примерно такие же требования предъявляются и при выполнении задания на тему «Сопряжения» (Упр.2).

Главная идея обучения в сотрудничестве – учиться вместе, а не просто что-то выполнять вместе! Обучение в сотрудничестве не только легче и интереснее, но значительно эффективнее.

Классическая дидактика ориентирована на обучение – «от известного к неизвестному». Новая дидактика, не отрицая пути движения от известного к неизвестному, в то же время обосновывает принцип перекрестной деятельности учителя, на линии которой располагаются опережающие наблюдения и опережающие эксперименты как разновидности опережающих заданий, изложенных с элементами опережения. Перечисленные факторы в совокупности называются *технологией обучения на опережающей основе*, которая способствует эффективной подготовке студентов к восприятию нового материала, активизирует познавательную деятельность, повышает мотивацию учения, выполняет другие педагогические функции.

Так, например, «Чтение сборочных чертежей» обычно изучается в конце курса инженерной графики. Единновременное изучение данной темы не решает всей проблемы формирования навыков чтения чертежей. Это дает только знания о том, как читать чертеж, но не формирует навыка, поскольку последнее связано с реальной потребностью в нем (чертеж надо читать для того, чтобы решать конкретные ситуационные задачи). Чтение чертежей является опережающим фактором учебного процесса, а формирование навыка чтения связано с реальной потребностью в нем.

При выполнении задания на тему «Геометрические тела» опережающей основой данного задания является то, что форма геометрических тел задается приближенная к деталям резьбовых изделий – гайке, винту, шпоночному соединению и т. п. Студенты знакомятся с их формой, назначением, сходством вычерчивания их элементов (рис. 3 и 4). На данном этапе они приобретают первые навыки чтения чертежа, а также выполняют задания с профессиональной направленностью.

Следовательно, важно, чтобы на каждом занятии чтение чертежа было необходимым и обязательным с выполнением конкретной учебной задачи. Урок, построенный на опережающей основе, включает как изучаемый и пройденный, так и будущий материал.

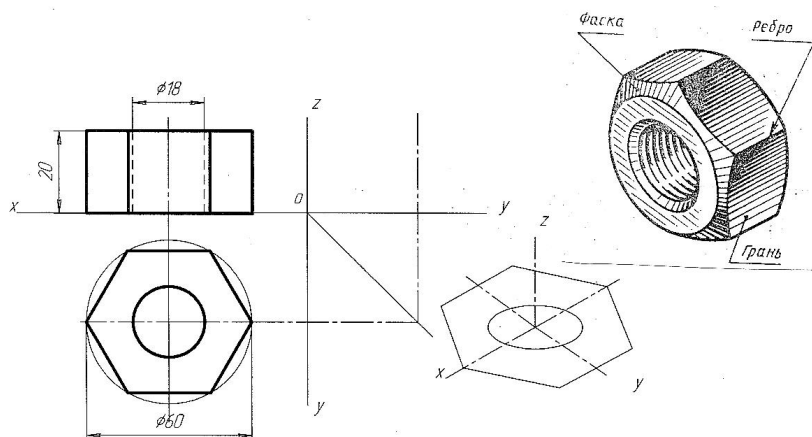


Рис. 3. Призма шестиугольная с цилиндрическим отверстием

Актуальность педагогической технологии на опережение определяется тем, что она предлагает путь решения многих назревших проблем и противоречий современного образования. Построенный учебный процесс соответствующим образом побуждает студентов к постоянному движению вперед в процессе получения знаний. Такое движение стимулирует умственную деятельность студентов. Данная технология может работать в сочетании с технологией обучения в сотрудничестве, а также и с технологией профессионального ориентирования.

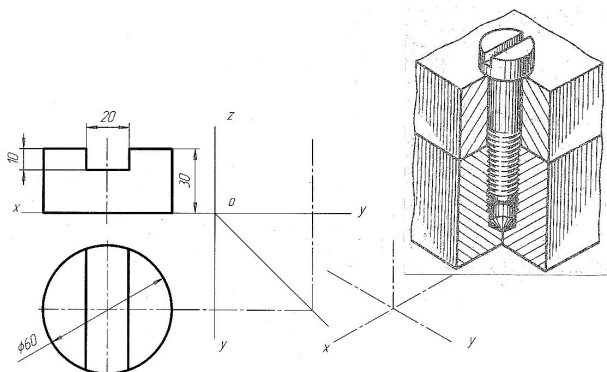


Рис. 4. Цилиндр с призматическим пазом

Технология профессионального ориентирования дополняет учебный процесс и способствует развитию профессиональной направленности студентов в процессе изучения инженерной графики и других технических дисциплин.

По мнению М.А.Петухова, технология профессионально-ориентированного обучения обладает существенными достоинствами, определяющими ее эффективность, а именно:

- технология обеспечивает гарантированное выполнение требований Государственного образовательного стандарта к уровню и качеству подготовки специалистов;

- в процессе обучения создаются необходимые условия для становления творчески активной, профессионально-ориентированной личности специалиста;

- технология содержит механизмы ее адаптации к уровню способностей студентов к самостоятельному учению, умственному развитию и воспитанию;

- обеспечивается общая эмоциональная удовлетворенность студентов собственной учебно-познавательной деятельностью.

Технология профессионального ориентирования связана с чтением сборочных чертежей и решением ряда графических задач, когда необходимо уточнять ряд сопрягаемых размеров по справочной литературе.

Так, при вычерчивании вала, опорная часть которого должна соответствовать размерам подшипника №209 ГОСТ 7242-81 (рис. 5), прежде всего студентам необходимо обратиться к справочнику для уточнения размера диаметра подшипника, так как размер подшипника стандартизован, и соответственно этому размеру подкорректировать размер диаметра шейки вала.

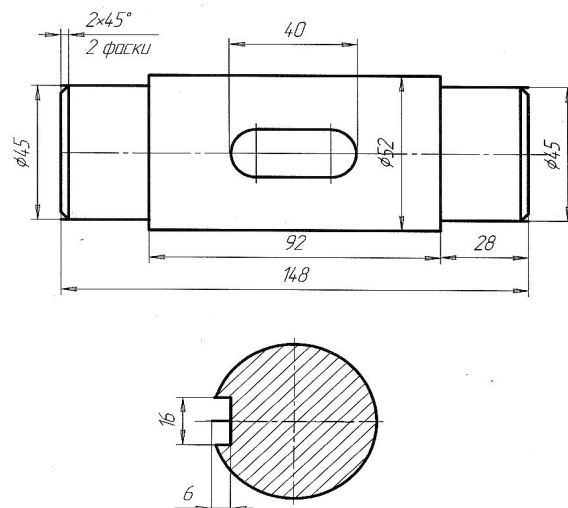
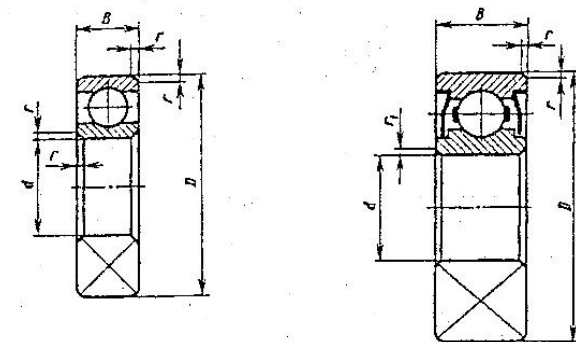


Рис. 5. Чертеж вала



(по ГОСТ 8338 – 75)
100 – 200 – 300 – 400

(по ГОСТ 7242 – 81)
80100 – 80200

Рис. 6. Чертеж подшипника по справочнику

Размеры подшипника влияют на размеры вала и корпуса подшипника. Изменение параметров влечет за собой изменение формы и размеров сопрягаемых деталей (рис. 6, 7). Умение пользоваться справочной литературой входит постоянную привычку каждого студента, что необходимо им как будущим специалистам.

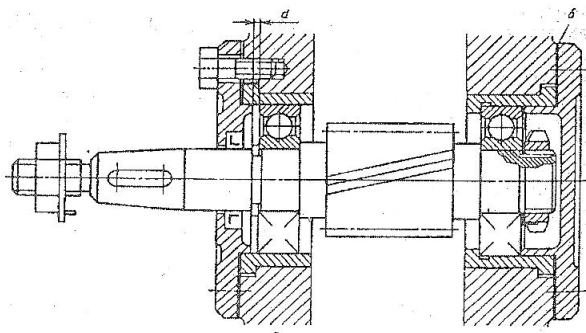


Рис. 7. Вал установлен на радиальных подшипниках

Технология профессионального ориентирования обеспечивает субъективную позицию будущего специалиста путем реализации следующих задач:

1) ориентация учебного материала на решение задач с профессиональной направленностью подготовки специалиста;

2) направленность на развитие творческой личности специалиста, способного к самостоятельной профессиональной деятельности;

3) создание условий для профессионально-личностного самоопределения студента; развитие профессионально-графической ориентации, формирование потребности и готовности к профессиональному самосовершенствованию.

Внедрение современных технологий обучения в педагогическую практику показывает, что они позволяют сделать педагогический процесс управляемым и

эффективным на основе его системного построения, а их освоение преподавателями значительно повышает уровень профессиональной компетенции и педагогического мастерства.

Список литературы

1. Левина М.М. Технология профессионального педагогического образования : учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений. М. : Издательский центр «Академия», 2001. 272 с.
2. Педагогика: педагогические теории, системы, технологии: учеб. пособие для студ. высш. и сред. пед. учеб. заведений / С.А. Смирнов, И.Б. Котова, Е.Н. Шиянов и др.; под ред. С.А. Смирнова. 4-е изд., испр. М.: издательский центр «Академия», 2000. 512 с.
3. Петухов М.А. Научные основы профессионально-технической системы обучения специальным предметам / под ред. А.П. Беляевой. СПб.: Ульяновск, 2000.
4. Новые педагогические и информационные технологии в системе образования: учеб. пособие для студ. пед. вузов и системы повыш. квалиф. пед. кадров / Е.С. Полат, М.Ю. Бухаркина, М.В. Моисеева, А.Е. Петров; под ред. Е.С. Полат. М.: Издательский центр «Академия», 2003. 272 с.
5. Рубинштейн С.Л. Принципы и пути развития психологии. М.: Изд-во АН СССР, 1959. С. 251.
6. Селевко Г.К. Современные образовательные технологии. М.: Народное образование. 1998. 256 с.

Bibliografy

1. Levina .M. M. The technology of professional pedagogical education/ Educational material for the students of Higher pedagogical educational institutions. M. Publishing centre «Academy», 2001. 272p.
2. Pedagogics: pedagogical theories, systems, technologies : Educational materials for the students of Higher and secondary pedagogical educational institutions/ S.A. Smirnov, I. B. Kotova E. N. Shiyarov etc.; Edited by S.A. Smirnov. the 4th publication, corrected. M.; Publishing centre «Academy», 2000. 512 p.
3. Petuhov M.A., Scientific basis of the system of the instruction in special subjects / Edited by A.P. Belyaeva. SPb., Ulyanovsk, 2000
4. Polat E.S., Buharkina M.U., etc. New pedagogical and information technologies in the educational system: Educational material for the students of Higher pedagogical educational institutions / E. S. Polat, M.U. Buharkina, M.V. Moiseeva, A.E.Petrov; Edited by E.S. Polat. M. Publishing centre «Academy», 2003. 272 p.
5. Rubinshtein S.L. , The principals and the ways of the development of the psychology. M. Publishing House Academy of Science USSR, 1959. 251 p.
6. Selevko G.K., Modern educational technologies / G.K. Selevko; Public Education, 1998. 256 p.

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.762

Гончарова О.Н., Сергеенко С.Н.

ИНФИЛЬТРОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ МЕХАНИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННЫХ В ЖИДКИХ СРЕДАХ ПОРОШКОВЫХ ШИХТ Fe-Ni

Представлены результаты исследований влияния содержания никеля в порошковой шихте на закономерности механической активации в жидких средах, уплотнения и деформации при инфильтрации расплавом бронзы, совмещенной со спеканием, порошковых основ Fe-Ni. Установлено наследственное влияние процессов диспергирования – агломерации на закономерности уплотнения при инфильтрации, консолидации порошковых материалов и формирования механических свойств.

Ключевые слова: порошковая шихта Fe-Ni, механическая активация в жидких средах, инфильтрация.

The effect of nickel content in powder mixture on the patterns of mechanical activation in liquid media in the high-energy mill, compaction and deformation during sintering with molten bronze infiltration powder basis Fe-Ni are presented. The hereditary effect of the processes of dispersion - agglomeration of the patterns of seals during infiltration, consolidation of powder materials and the formation of mechanical properties has been established.

Key words: powder mixture Fe-Ni, mechanical activation in liquid media, infiltration.

Введение. В ЮРГТУ (НПИ) разработаны способы получения инфильтрованных порошковых материалов (ИПМ), включающие напрессовку инфильтрата на предварительно спрессованную порошковую железную основу, с последующим спеканием биметаллической заготовки, совмещенным с инфильтрацией тугоплавкого каркаса [1]. Технологии обеспечивают получение инфильтрованных расплавами меди, бронзы и латуни порошковых материалов на основе железа с повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами. В работе [2] обосновано использование в качестве инфильтрата бронзы БрО10С1,5ЦФ и определено его оптимальное содержание (10-14 % мас.), обеспечивающее получение ИПМ с повышенной прочностью при испытаниях на изгиб. Увеличение содержания олова более 1-1,4 % мас. приводит к выделению ε-фазы, охрупчиванию ИПМ и снижению прочности. Предварительные исследования [3] влияния содержания никеля (0-8 % мас.) в шихте основы Fe-Ni на физико-механические свойства ИПМ и закономерности уплотнения при инфильтрации, совмещенной со спеканием, для различных марок железного порошка, а также результаты многокритериальной оптимизации показали, что введение 2 % мас. никеля в шихту на основе порошка железа ПЖВ 3.160.26 обеспечивает получение ИПМ с пониженной пористостью и повышенной твердостью поверхностных слоев. Проведенные в ЮРГТУ (НПИ) исследования по механической обработке в жидких средах порошковых шихт Ni-Fe показали возможность активации процессов сплавообразования и формирования твердых растворов при спекании формовок [4].

Цель работы – установить закономерности механической активации порошковых шихт Fe-Ni, инфильтрации, совмещенной со спеканием, формирования структуры и свойств ИПМ (Fe-Ni) – БрО10.

Методики исследования. При выполнении работы в качестве исходных материалов при получении

ИПМ использовали порошки железа ПЖВ 3.160.26 (ГОСТ 9849-86), никеля ПНК-1Л5 ГОСТ 9722-97, бронзы БрО10С1,5ЦФ (ТУ 14-22-105-96). Технология изготовления образцов включала механическую активацию в жидких средах (МАЗ) порошковых шихт Fe-Ni в высокоэнергетической мельнице (ВЭМ) «САНД-1» (скорость вращения ротора $4,84 \text{ с}^{-1}$, время обработки в мельнице 1,2 кс, соотношение масс шаров ($d_{ш}=10 \text{ мм}$) и шихты $M_{ш}:m_{шихты}=10:1$). В качестве размольной среды (10 % от массы шихты) использовали 95 %-й раствор этилового спирта.

Формование цилиндрических заготовок давлением 50–400 МПа проводили на гидравлическом прессе ПГ-50, используя стальную пресс-форму. При получении ИПМ проводили засыпку шихты основы Fe-Ni в матрицу, предварительное прессование (50 МПа) с последующей засыпкой порошка инфильтрата БрО10, доуплотнение (400 МПа) биметаллической заготовки (инфильтрат-основа) и спекание, совмещенное с инфильтрацией (1432К; 7,2 кс), в среде диссоциированного аммиака и засыпке Al_2O_3 .

Фракционный состав (ГОСТ 18318-94) механически активированных в жидких средах порошковых шихт Fe-Ni (0-2 % мас.) исследовали на ситовом анализаторе модели «029» в течение 1,2 кс, используя набор лабораторных сит (45–400 мкм). Для оценки степени агломерации шихты определяли средний размер частиц после обработки в ВЭМ d_0 и ручной обработки в ступе (1,2 кс) d_1 и рассчитывали показатель агломерации (ПАГ).

$$ПАГ = \frac{d_0}{d_1}. \quad (1)$$

Кривые распределения частиц по размерам описывали с помощью уравнения Розина-Раммлера [5]

$$F(x) = a \cdot b \cdot x^{(b-1)} \cdot \exp(-a \cdot x^b), \quad (2)$$

где $F(x)$ – логарифмическая нормальная функция распределения частиц по размерам;

x – размер частиц, изменяющийся в пределах $x_{\min} < x < x_{\max}$);

a и b – параметры распределения, определяющие острогу максимума и степень асимметричности кривой.

Значения параметров a и b рассчитывали, используя интегральную характеристику $P(x)$ – содержание частиц с размерами больше данного x .

$$P(x) = \exp(-a \cdot x^b). \quad (3)$$

Для определения a и b кривую распределения $P(x)$ дважды логарифмировали. Уравнение (3) приводили к линейному виду

$$Y = a + b \cdot X, \quad (4)$$

где $Y = \ln(\ln \frac{1}{P})$; $a = \ln a$; $b = \ln b$; $X = \ln x$;

P – проход, % мас.

Используя программу Table Curve 2D, определили значения a , b , r^2 и вычислили параметры уравнения Розина-Раммлера a , β .

Степень уплотнения при инфильтрации оценивали коэффициентом Ивенса K_u , равным отношению объемов пор инфильтрованной заготовки $V_{\text{пор}}^{\text{инф}}$ и холднопрессованной формовки $V_{\text{пор}}^{\text{хп}}$ [6], а также определяли изменение линейных размеров при инфильтрации (ГОСТ 29012-91) с учетом $d_{\text{хп}}$ и $d_{\text{инф}}$.

$$K_u = \frac{V_{\text{пор}}^{\text{инф}}}{V_{\text{пор}}^{\text{хп}}}. \quad (5)$$

$$\Delta d = \frac{d_{\text{инф}} - d_{\text{хп}}}{d_{\text{хп}}} \times 100\%. \quad (6)$$

Механические свойства верхних слоев ИПМ определяли на цилиндрических образцах при испытаниях на срез $t_{\text{ср}}$ и путем измерения твердости HRH по Роквеллу (ГОСТ 24622-81) на твердомере TP5056 УХЛ. Для оценки степени консолидации порошковых частиц определяли расчетную величину предела прочности на срез компактного материала [8]:

$$t_{\text{ср}}^{\kappa} = \frac{t_{\text{ср}}}{1 - 1,21 \times \Pi^{\frac{2}{3}}}.$$

Твердость при малых нагрузках определяли на цифровом микротвердомере HVS-1000 (0,98 Н, 10 с). Микрорентгеноспектральный анализ проводили на растровом микроскопе.

Результаты экспериментальных исследований. Результаты исследований влияния содержания никеля (0-2% мас.) в порошковой шихте Fe-Ni на фракционный состав, значения относительной

плотности инфильтрованной заготовки θ , изменение линейных размеров Δd и коэффициент Ивенса K_u при инфильтрации, совмещенной со спеканием, представлены в таблице.

Результаты экспериментальных исследований

C_{Ni} , % мас.	d_0 , мкм	d_1 , мкм	ПАГ	θ	Δd , %	K_u	$T_{\text{ср}}$, МПа	$T_{\text{ср}}^{\kappa}$, МПа	HRH
0	97	95	1,02	0,755	0,94	0,852	364	653	101
1	94	93	1,01	0,750	1,34	0,886	374	714	101
1,5	98	96	1,02	0,749	1,34	0,891	318	612	102
2	95	96	1,00	0,737	1,60	0,909	467	952	93

Показано, что увеличение содержания никеля до 1% мас. приводит к снижению среднего размера частиц после обработки в ВЭМ, а при 1,5% мас. наблюдаются максимальные значения d_0 . В процессе ручной обработки в ступе происходит уменьшение средних размеров порошковых частиц во всем исследуемом диапазоне содержания никеля ($\text{ПАГ} \geq 1$). При повышенном содержании никеля (2% мас.) в порошковой шихте наблюдаются минимальные значения $\text{ПАГ} \approx 1$ за счет формирования при обработке в ВЭМ высокопрочных агломератов, не разрушающихся в процессе ручной обработки в ступе.

Влияние содержания никеля на значения параметров α_0 , β_0 функции распределения порошковых частиц шихты Fe-Ni после обработки в ВЭМ может быть представлено в виде полиномов третьей степени. С учетом полученных зависимостей $\alpha_0(C_{\text{Ni}})$, $\beta_0(C_{\text{Ni}})$ построили модифицированное уравнение функции распределения частиц по размерам, учитывающее содержание никеля в шихте:

$$F(x; C_{\text{Ni}}) = a(C_{\text{Ni}}) \cdot b(C_{\text{Ni}}) \cdot x^{(b(C_{\text{Ni}})-1)} \cdot \exp(-a(C_{\text{Ni}}) \cdot x^{(b(C_{\text{Ni}}))}),$$

где $a_0 = 62,71 + 44,5 \cdot C_{\text{Ni}} - 77,7 \cdot C_{\text{Ni}}^2 + 28,06 \cdot C_{\text{Ni}}^3$,

$$b_0 = 1,85 - 0,08 \cdot C_{\text{Ni}} - 0,26 \cdot C_{\text{Ni}}^2 + 0,11 \cdot C_{\text{Ni}}^3.$$

Увеличение содержания никеля до 1,5% мас. приводит к повышению значений α_0 и β_0 , при дальнейшем повышении содержания никеля до 2% мас. наблюдается интенсивное увеличение значений α_0 и β_0 .

Анализ фрактограмм порошковой шихты и спрессованной формовки (рис. 1) показал, что в процессе механической активации в жидких средах происходит формирование агломератов, представляющих собой композиционные частицы Fe-Ni и Ni-Fe.

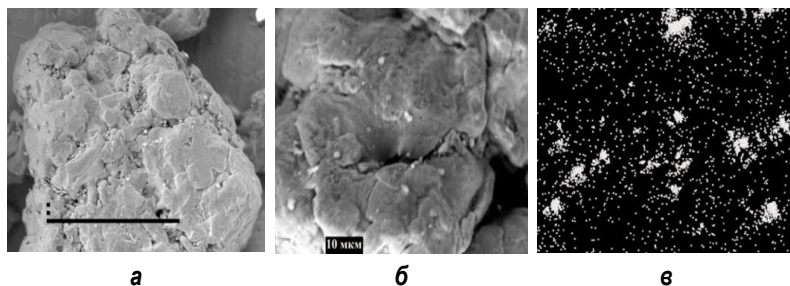


Рис. 1. Изображение во вторичных электронах частиц порошковой шихты Fe-Ni (маркер 100 мкм) (а) и распределение никеля в спрессованной порошковой шихте Fe-Ni (б), в рентгеновском излучении NiK α (в)

В результате исследований (см. таблицу) установлено, что инфильтрация расплавом бронзы, совмещенная со спеканием, обеспечивает уплотнение порошкового материала для всего исследованного диапазона значений содержания никеля (0–2% мас.). С увеличением C_{Ni} наблюдается снижение относительной плотности инфильтрованного материала. При повышенном содержании никеля (2% мас.) наблюдается минимальная степень уплотнения за счет наследственного влияния процессов диспергирования-агломерации при МАЖ. Уменьшение показателя агломерации приводит к росту значений коэффициента Ивенсена.

Сравнительный анализ зависимостей влияния содержания никеля на значения относительной плотности и показателя агломерации (см. таблицу) показал, что использование порошковых шихты Fe-Ni (2% мас.) на основе высокопрочных агломератов, сформированных в ВЭМ в режиме МАЖ и не разрушающихся в процессе ручной обработки в ступе, обеспечивает минимальные значения относительной плотности материалов, снижая степень уплотнения при инфильтрации.

Увеличение содержания никеля (0–2% мас.) приводит к «разбуханию» инфильтрованной заготовки в радиальном направлении за счет формирования твердых растворов Cu-Ni и наследственного влияния процессов диспергирования-агломерации при МАЖ. При использовании шихты Fe-Ni (2% мас.) наблюдается максимальное увеличение радиальных размеров при инфильтрации, совмещенной со спеканием. На основе анализа результатов экспериментальных исследований построено линейное уравнение в виде

$$Dd(C_{Ni}) = 1,102 + 0,305 \times C_{Ni}$$

($F_p = 1,78 < F_T = 19,20$ при $\alpha = 0,05$ $\alpha = 0,05$ и $S_y^2 = 0,174$), адекватно описывающее влияние содержания Ni на изменение радиальных размеров верхних слоев заготовки в процессе инфильтрации. Высота заготовки уменьшается за счет массопереноса расплава инфильтрата из напрессованного поверхностного слоя в поры основы.

Увеличение содержания никеля в шихте на основе агломератов Fe-Ni приводит к интенсификации «медного роста» при инфильтрации. Увеличение радиальных размеров верхних слоев ИПМ (Fe-Ni)-BrO10 на основе агломератов можно объяснить следующим. В процессе МАЖ формируются агломераты, представляющие собой композиционные частицы Fe-Ni, а в процессе инфильтрации никель, связанный с порошковой основой, и медь, находящаяся в расплаве, формируют твердый раствор Cu-Ni, расположенный на поверхности частиц железа (рис. 2, а). Увеличение радиальных размеров верхних слоев ИПМ Fe-BrO10 можно объяснить «медным ростом» агломератов Fe-Fe, сформированных в процессе МАЖ (рис. 2, б).

Совместный анализ влияния содержания никеля на значения d_0 , d_1 , ПАГ, τ_{cp} , τ_{cp}^k (см. таблицу) показал, что механические свойства ИПМ на основе механически активированных в жидких средах шихт Fe-Ni (0-2% мас.) определяются размерами агломератов и частиц их составляющих, а также значениями показателя агломерации. Максимальные значения предела прочности при испытаниях на срез и расчетного

предела прочности на срез компактного материала, характеризующего степень консолидации ИПМ, наблюдаются при использовании шихт на основе высокопрочных агломератов, не разрушающихся в процессе ручной обработки в ступе, с минимальными размерами частиц. Снижение относительной плотности θ приводит к снижению твердости ИПМ.

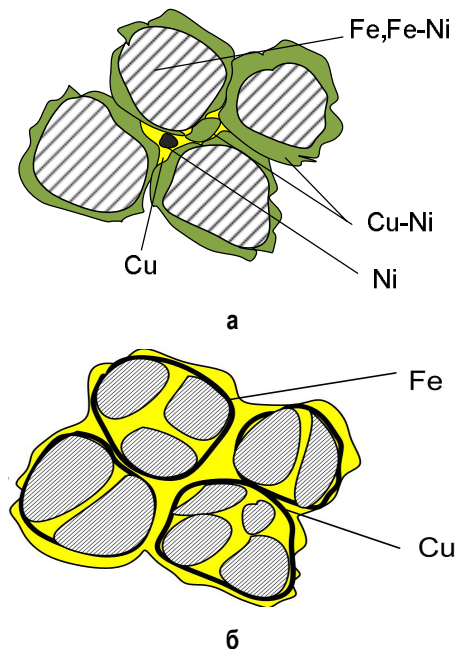


Рис. 2. Структурная модель: а – ИПМ (Fe-Ni) – BrO10; б – ИПМ Fe – BrO10

Анализ микроструктур ИПМ (рис. 3) на основе порошковых шихт Fe-Ni (2% мас.) показал, что при инфильтрации наблюдается локализация инфильтрата в верхних и средних слоях материала. Поверхностный слой инфильтрованного порошкового материала характеризуется повышенными значениями твердости верхнего торца HV 242 по сравнению с нижним HV 227.

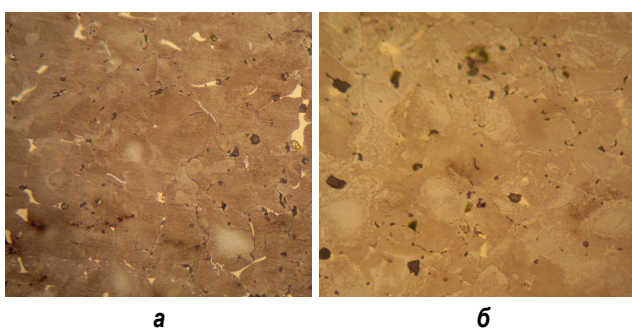


Рис. 3. Микроструктура ИПМ на основе порошковых шихт Fe-2%Ni, полученных механической активацией в жидких средах: а – верх; б – низ ($\times 640$)

Анализ распределения элементов Fe, Ni, Cu, Sn (рис. 4), а также изображений во вторичных электронах и в излучении Fe, Cu, Sn, Ni (рис. 5) показал, что никель равномерно распределен по объему ИПМ, поры заполнены сплавом Cu-Sn, легированным никелем и железом.

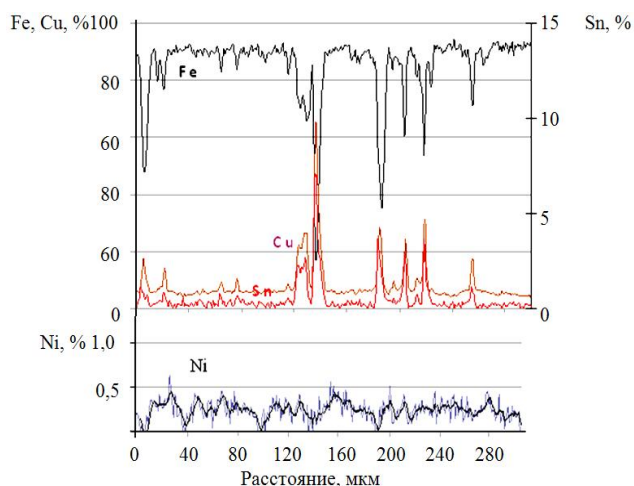


Рис. 4. Распределение элементов на отрезке 300 мкм в средней области образца (шаг сканирования 1 мкм)

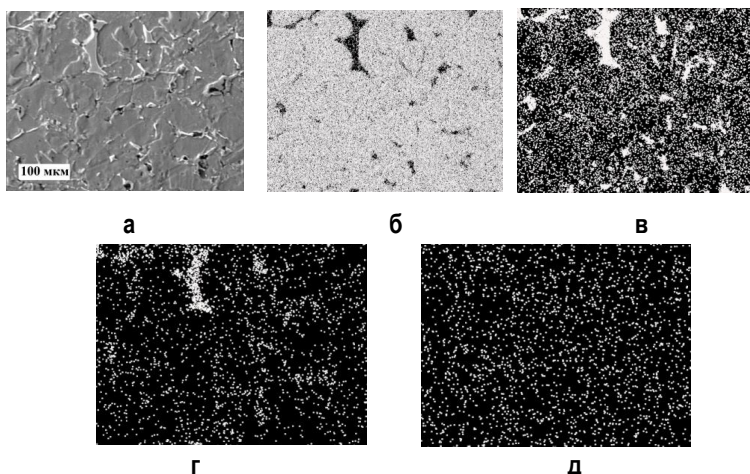


Рис. 5. Структура ИПМ (Fe-Ni) – BrO10 во вторичных электронах (а) и распределение элементов в излучении FeK α (б), CuK α (в), SnK α (г), NiK α (д)

Выводы. Предложена технология получения инфильтрованного порошкового материала, включающая механическую активацию в жидких средах шихты Fe-Ni, холодное прессование биметаллической формовки (инфильтрат-основа) с последующей инфильтрацией расплавом бронзы, совмещенной со спеканием.

Установлено влияние содержания никеля на granulometric composition, average particle size and regularity of dispersion – agglomeration of Fe-Ni powders in the process of mechanical activation in liquid media. The highest degree of agglomeration is observed at a nickel content of 1.5% by mass. An increase in nickel content to 2% leads to the formation of high-strength agglomerates, which are destroyed during manual processing in a mill.

A modified equation for the distribution of particles by size, taking into account the nickel content in mechanically activated powder, is constructed.

It is established that the processes of

dispersion-agglomeration of Fe-Ni powders, processed in a high-energy mill, in the regularity of compaction during infiltration of the Fe-Ni powder base with a bronze melt, combined with sintering.

When using Fe-Ni (2% by mass) agglomerates, a decrease in the relative density of the infiltrated powder, an increase in the radial size during infiltration, combined with sintering, and a decrease in the degree of compaction.

A decrease in the agglomeration index leads to an increase in the Iverson coefficient IPM. This ensures a higher degree of consolidation and strength of the infiltrated powder material in liquid media of Fe-Ni (2% by mass).

Список литературы

1. Пат. 2052322 RU, МПК B22F3/16. Способ изготовления газонепроницаемых низкопористых порошковых материалов / Ю.Г. Дорощев, С.Н. Сергеев. № 93054977102; заявл. 10.12.1993; опубл. 20.01.1996.
2. Гриценко С.В. Структура и свойства порошковых бронз, получаемых с использованием обработанных в атриторах порошков меди и бронзовой стружки: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. Новочеркасск, 1996. 21 с.
3. Дорощев Ю.Г., Сергеев С.Н., Ганшин А.В. Спеченные порошковые материалы на основе железа, инфильтрованного медью и ее сплавами // Материалы Междунар. науч.-техн. конф., 16-20 сент. 2002 г., г.Новочеркасск / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2002. С. 153-155.
4. Гончарова О.Н. Влияние содержания никеля на твердость и пористость инфильтрованных бронзой порошковых материалов железо-никель // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2011. № 5. С. 51-54.
5. Дорощев Ю.Г., Сергеев С.Н., Коломиец Р.В. Порошковые материалы на основе механохимически активированных шихт Fe-Ni и порошков Ni // Вестник Пермск. гос. техн. ун-та. 2004. № 10 : Проблемы современных материалов и технологий. С. 48-52.
6. Хоодаков Г.С. Физика измельчения. М.: Наука, 1972. 308 с.
7. Ивсен В.А. Феноменология спекания и некоторые вопросы теории. М.: Металлургия, 1985. 247 с.
8. Мильман Ю.В. Механические свойства спеченных материалов // Порошковая металлургия. 1991. № 1. С. 34-45.

Bibliography

1. Pat. 2052322RU IPC B22F3/16. A method of making gas-tight lowly porous powder materials / Y.G. Doroshev, S.N. Sergeenko. Application 93054977102, 10/12/1993. Publ.01/20/1996.
2. Doroshev Y.G., Sergeenko S.N., Ganshin A.V. Sintered powder materials based on iron, infiltrated with copper and its alloys // Materials Int. scientific and engineering. Conf., Sept. 16-20. 2002, Novocherkassk / South. Rus. State. Technical. University (NPI).Novocherkassk SRSTU (NPI), 2002. С. 153-155.
3. Goncharova O.N. Effect of nickel content on the hardness and porosity of the infiltrated bronze powder materials of iron-nickel // Proceedings of the higher education institutions. North-Caucasian region. Engineering. 2011. № 5. P. 51-54.
4. Doroshev Y.G., Sergeenko S.N., Kolomiets R.V. Powder materials based on mechanically activated powder mixture Fe-Ni and powder Ni // Journal of Perm. State. Technical. University. 2004. № 10 : Problems of modern materials and technology. P. 48-52.
5. Khodakov G.S. Physics of grinding. Moscow: Nauka, 1972. 308 p.
6. Evans V.A. Phenomenology of Sintering and some questions of theory. Moscow: Metallurgiya, 1985. 247
7. Milman Y.V. Mechanical properties of sintered materials // Powder metallurgy. 1991. № 1. P. 34-45.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

УДК 314.212:620.111.3

Гун. И.Г., Салганик В.М., Евдокимов С.А., Сарлыбаев А.А.

ОСНОВНЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ И МЕТОДЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Дана характеристика основных неисправностей силовых трансформаторов 35-110 кВ и причин их возникновения. Рассмотрены методы диагностирования без снятия напряжения в условиях эксплуатации. Выполнено разделение методов на пять характерных групп. Дана характеристика диагностической ценности применяемых методов.

Ключевые слова: силовой трансформатор, повреждения, диагностирование, методы, классификация, диагностическая ценность.

The characteristic of the basic derangements of mains transformers 35-110 kV and the reasons of their origination are given. Methods of diagnosing without stress relief under operating conditions are observed. Separation of methods into five characteristic groups is fulfilled. The characteristic of diagnostic importance of applied methods is given.

Key words: the mains transformer, faults, diagnosing, methods, classification, diagnostic importance.

Опыт эксплуатации силовых маслонаполненных трансформаторов показывает, что при соблюдении номинальных нагрузочных режимов, своевременном проведении ремонтов и качественном их выполнении срок службы трансформатора может значительно превышать нормативный (25 лет). При решении вопросов дальнейшей эксплуатации трансформаторов возникает необходимость оценки их действительного состояния, которое определяется целым рядом параметров, характеризующих состояние активной части, изоляции, устройства переключения ответвлений, вводов высокого напряжения, системы охлаждения и т.д.

Основные причины возникновения неисправностей в силовых трансформаторах

На основе эксплуатационных данных можно выделить следующие причины, приводящие к снижению и потере работоспособности трансформаторов [1, 2]:

- повышенный нагрев элементов активной части, вызванный нагревом металлических деталей, вихревыми токами, перегрузками и перенасыщением магнитопровода, а также их старением;
- нарушение изоляции между элементами конструкции и образование контура для циркулирующих токов из-за нарушения изоляции стяжных шпилек остова, замыкания ярмовых балок на бак трансформатора;
- увлажнение изоляции;
- наличие газа в масле из-за газовыделения в местах повышенного нагрева или повышенной напряженности электрического поля (характерным признаком являются частичные разряды);
- старение изоляции под воздействием катализаторов, кислорода и электрического поля;
- частичные деформации обмоток при прохождении сквозных токов КЗ;
- повреждение обмоток (витковые замыкания) из-за грозовых перенапряжений;
- износ, нагрев контактов переключающих устройств;
- отказ защиты трансформатора;

- частичные разряды в изоляции.

Для трансформаторов класса напряжений 35–110 кВ характерными дефектами являются увлажнение изоляции и повреждение токоведущих соединений. Дефектами трансформаторов 220 кВ и выше могут стать развивающиеся повреждения из-за повышенного нагрева токоведущих соединений, элементов конструкций, увлажнение и сопутствующие им частичные разряды. Поэтому преимущественным направлением диагностирования для трансформаторов 35–120 кВ является оценивание увлажнения, старения изоляции, межвитковых замыканий и интенсивности частичных разрядов.

Условия ухудшения состояния изоляции трансформаторов условно можно разделить на три группы.

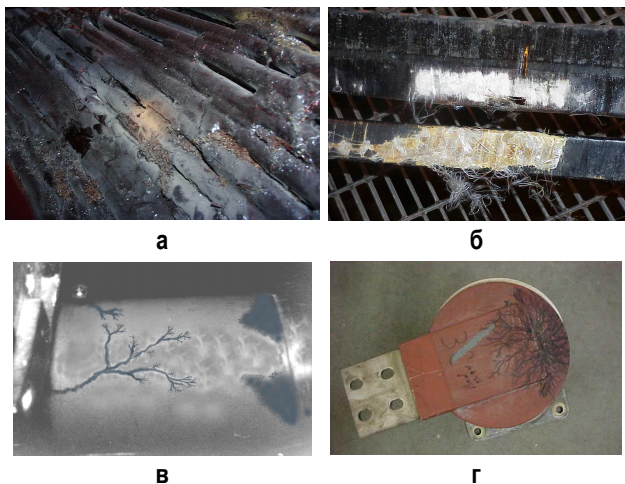
Первая группа характеризуется разложением углеводородов трансформаторного масла под действием температуры, электрического поля и катализаторов, а также молекул кислорода. В результате образуются молекулы воды и активные радикалы (молекулярное растворение воды в материале изоляции). К этой группе относится увлажнение изоляции непосредственным путем миграции влаги из атмосферы через прокладку бака и других элементов трансформатора.

Вторая группа сопровождается образованием активных химических соединений, т.к. при наличии молекул воды и активных радикалов образуются полярные соединения (свежее трансформаторное масло является неполярным веществом). Процесс поляризации происходит вследствие гидролиза молекул материала изоляции. Интенсивность окисления увеличивается под воздействием электрического поля, катализаторов и концентрации влаги. Контроль состояния изоляции в этом случае существующими средствами затруднен и малоэффективен.

Третья группа вызывает изменения физических свойств и химического состава изоляции, в результате чего образуются шламы, изменяются цвет, температура вспышки масла, ускоряются процессы газообразования и др. Анализ существующих методов, способов и средств испытаний показал, что контроль состояния

изоляции основан на выявлении образовавшихся продуктов, концентрация которых значительна. При этом появляются побочные признаки, обнаруживающие ухудшение характеристик изоляции, например частичные разряды. Аварии и отбраковки происходят из-за превышения предельных параметров.

На рисунке показаны последствия аварий трансформаторного оборудования (по материалам доклада компании Culter-Hammer Predictiwe Diagnostics [3]). Основные повреждения силовых трансформаторов (без учета высоковольтных вводов) с указанием причин их возникновения, характером и последствиями их развития приведены в табл. 1 [4].



Повреждения: а – обмотки; б – шин; в – бака; г – треки

Методы диагностирования силовых трансформаторов в эксплуатации

Все измерения и анализы при диагностике трансформаторов можно условно разделить на пять групп [5].

Первая группа – традиционные измерения на отключенном трансформаторе тангенса угла диэлектрических потерь ($tg \delta$) и сопротивления изоляции обмоток и вводов, сопротивления обмоток постоянному току, потерь холостого хода и сопротивления (напряжения) КЗ. Все эти измерения, как правило, регулярно выполняются эксплуатационным персоналом.

Вторая группа – измерения на трансформаторах при рабочем напряжении в режимах наибольших нагрузок и холостого хода. Здесь можно выделить следующие работы: *измерения частичных* и других электрических разрядов; *акустическое обследование* бака трансформатора с целью определения источников электрических разрядов. Для этого используются система записи акустических сигналов с помощью осциллографа, а также локация акустических сигналов, позволяющая оперативно определять звуковую частоту источников механического характера, частичных, искровых или дуговых разрядов; *вибрационное обследование трансформатора* (основанное на анализе спектра колебаний поверхности бака) для определения уровня прессовки обмоток и магнитопровода, а также исследование системы охлаждения; *термографическое обследование* бака трансформатора, вводов расширителя теплообменников (радиаторов), термосифонных фильтров, электрических двигателей и маслонасосов системы охлаждения, контактных соединений.

Таблица 1

Основные повреждения силовых трансформаторов

Узел	Повреждение	Причина возникновения повреждения	Характер и последствия развития повреждения
Обмотка	Выгорание витковой изоляции и витков обмотки	Длительное неотключение сквозного тока КЗ на стороне низшего напряжения трансформатора	Выгорание витковой изоляции и витков, разложение масла, расплавление и разбрызгивание меди и разрушение изоляции
	Деформации обмотки	Недостаточная электрическая стойкость обмоток	Повреждение изоляции вследствие деформации обмоток с возможным повреждением трансформатора
	Увлажнение и загрязнение изоляции обмоток	Нарушение герметичности трансформатора к токам КЗ	Снижение электрической прочности маслостойкой изоляции и пробой первого масляного канала, что может вызвать: - развитие «ползущего разряда»; - ионизационный пробой витковой изоляции за счет вытеснения масла водяным паром из капилляров изоляции; - повреждение трансформатора
	Износ изоляции обмоток	Снижение механической стойкости изоляции обмоток	Разрушение изоляции обмоток с последующим возникновением виткового замыкания или замыкания на другую обмотку при умеренном сквозном токе КЗ с внутренним повреждением трансформатора
	Дефект изготовления грозупорной обмотки	Касание петель грозупорных обмоток разделяющей перегородки	В условиях вибрации трансформатора ведет к истиранию изоляции петлей и развитию пробоя
Магнитопровод	Перегрев магнитопровода	Образование короткозамкнутого контура в магнитопроводе	Оплавление стали магнито-провода, пожар в железе, разложение масла
Система охлаждения	Нарушение охлаждения трансформатора	Повреждение маслонасосов	Нарушение охлаждения трансформатора и загрязнение механическими примесями
		Засорение труб охладителей	Перегрев трансформатора
Переключатели ответвлений РПН	Нарушение контактов в РПН	Искрение, перегрев, оплавление и выгорание контактов. Подгар токоограничивающих сопротивлений	Неработоспособность РПН
	Нарушение перегородки, изолирующей бак расширителя МЧН от бака трансформатора	Дефект изготовления	Загрязнение масла трансформатора, снижение его электрической прочности, усложнение диагностики трансформатора
	Механическая неисправность ГОН	Износ элементов кинематической схемы	Обгорание контактов переключателей
	Нарушение герметичности бака контактора	Увлажнение бакелитового цилиндра контактора	Внутреннее дуговое КЗ по увлажненным расщеплениям бакелитовой изоляции бака РПН

Третья группа – физико-химические анализы масла из бака, маслонаполненных вводов, устройств РПН, в том числе большая группа традиционных, широко применяемых в эксплуатации измерений пробного напряжения, кислотного числа и т.д. Кроме того, проводится *хроматографический анализ* характерных газов. Инфракрасная спектроскопия позволяет определять содержание антиокислительной присадки, выявлять различные шламы и осадки, растворенные в масле трансформатора.

Четвертая группа объединяет измерения систем непрерывного контроля (мониторинга) изоляции вводов и ежедневные измерения основных показателей работы трансформатора, которые осуществляются эксплуатационным персоналом.

Пятая группа – анализы, проводимые для трансформаторов с запланированным капитальным ремонтом по результатам первых четырех групп измерений. К этой группе относятся: определение степени полимеризации бумажной изоляции, прямые измерения ее влагосодержания, прочности и др.

Один из наиболее объективных показателей, позволяющих оценить информативность используемого метода, – диагностическая ценность. При наличии

статистических данных этот показатель представляет собой численную оценку информации о состоянии оборудования, которой обладает интервал значений измеряемого параметра. В табл. 2 приведена оценка вида диагностической ценности методов контроля процессов, приводящих к повреждениям трансформатора [1].

Необходимо подчеркнуть, что признаки со случайной диагностической ценностью, определяемой отсутствием монотонности изменения значений при развитии контролируемого процесса, не могут быть использованы для принятия решений о состоянии оборудования, а лишь в некоторых случаях могут свидетельствовать о необходимости более полного обследования.

Как следует из проведенного анализа, ни один из известных методов не может дать исчерпывающей картины состояния трансформаторов. Целесообразно применение комбинированных методов контроля без снятия напряжения (в режиме on-line). Для этого должны применяться как стационарные, так и переносные системы диагностирования, с целью наиболее полной оценки состояния, локализации неисправностей и выявления причин их возникновения.

Таблица 2

Диагностическая ценность методов контроля

Метод контроля	Анализируемый процесс	Вид диагностической ценности
Хроматографический анализ газов, растворенных в масле	Перегрев токоведущих соединений и элементов конструкции внутренней изоляции, электрический разряд в масле	Сопутствующий показатель физико-химического разрушения изоляции. Монотонность изменения во времени при развитии процесса. Детерминированная диагностическая ценность
Измерение степени полимеризации бумажной изоляции	Износ бумажной изоляции	Функция физико-химического разрушения изоляции. Монотонность изменения во времени при развитии процесса. Детерминированная диагностическая ценность
Измерение содержания фурановых соединений в масле	Старение бумажной изоляции	Сопутствующий показатель физико-химического разрушения изоляции. Отсутствие монотонности и значимых различий изменения содержания от срока эксплуатации и степени износа изоляции. Случайная диагностическая ценность
Измерение мутности масла	Коллоидно-дисперсные процессы в высоковольтных герметичных вводах	Функция физико-химического состояния. Монотонность изменения во времени при развитии процесса. Детерминированная диагностическая ценность
Измерение поверхностного натяжения	Старение масла	Функция полярности жидкости. Монотонность изменения во времени при развитии процесса. Детерминированная диагностическая ценность
ИК-спектрометрия	Старение масла	Сопутствующий показатель наличия продуктов старения масла. Монотонность изменения во времени при развитии процесса. Детерминированная диагностическая ценность
Тепловизионный контроль	Локальные зоны перегрева	Сопутствующий показатель теплового состояния трансформатора и токоведущих частей. Монотонность изменения во времени. Детерминированная диагностическая ценность
Измерение частичных разрядов	Ионизационные процессы в изоляции	Сопутствующий показатель физико-химического разрушения изоляции. Отсутствие монотонности изменения во времени при развитии процесса. Случайная диагностическая ценность
Измерение сопротивления короткого замыкания	Деформация обмоток	Сопутствующий показатель изменения геометрии обмоток. Монотонность изменения во времени. Детерминированная диагностическая ценность
Метод низковольтных импульсов	Деформация обмоток	Сопутствующий показатель изменения геометрии обмоток. Монотонность изменения во времени при развитии процесса. Детерминированная диагностическая ценность
Определение усилий прессовки обмоток трансформатора по частоте собственных колебаний системы прессовки при внешнем импульсном механическом воздействии	Распрессовка обмоток	Сопутствующий показатель степени прессовки обмоток. Монотонность изменения во времени при развитии процесса. Детерминированная диагностическая ценность

Список литературы

Bibliography

1. О повреждениях силовых трансформаторов напряжением 110–500 кВ в эксплуатации / Б.В. Ванин, Ю. Н. Львов, М. Ю. Львов и др. // Электр. станции. 2001. № 9. С. 53–58.
2. Диагностирование технического состояния силовых трансформаторов энергоблоков центральной электростанции ОАО «ММК» / А.С. Карандаев, С.А. Евдокимов, С.Е. Мостовой и др. // Сб. докл. I междунар. науч.-практ. конф. «ИНТЕХМЕТ-2008». Санкт-Петербург, 2008. С. 113–117.
3. International Standard «High-voltage test techniques – Partial discharge measurements» – IEC 60270, Third edition, 2000-12.
4. Применение технологии ЧР в диагностике изоляции / Claude Kane, Alexander Golubev. [http:// www.partial-discharge.com](http://www.partial-discharge.com)
5. Повреждаемость, оценка состояния и ремонт силовых трансформаторов / А.П. Долин, В.К. Крайнов, В. В. Сmealов и др. // Энергетик. 2001, № 7. С. 30–34.

1. About faults of mains transformers voltage 110-500 kV in maintenance / B.V. Vanin, J.N.Lvov, M.J.Lvov, etc. // Elektr. Servers. 2001. № 9. with. 53–58.
2. Diagnosing of availability index of product of mains transformers of generating sets of the central power station of open joint-stock company «ММК» / A.S.Karandaev, S.A.Evdokimov, S.E. Mostovoy, etc. // a Sat. report I international. Scientifically-prakt. conference. «ИНТЕХМЕТ-2008». St.-Petersburg, 2008. With. 113–117.
3. International Standard «High-voltage test techniques Partial discharge measurements» - IEC 60270, Third edition, 2000-12.
4. Application of production engineering ЧР in isolation diagnostic / Claude Kane, Alexander Golubev. <http://www.partial-discharge.com>
5. Damageability, a state estimation and reconditioning of mains transformers / A.P. Dolin, V.K.Krajnov, V.V. Smekalov, etc. // Power engineering. 2001, № 7. with. 30–34.

УДК 314.212:620.111.3

Карандаев А.С., Евдокимов С.А., Девятков Д.Х., Парсункин Б.Н., Сарлыбаев А.А.

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЛОКАЦИИ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ

Выполнены эксперименты по измерению разрядной активности силовых трансформаторов центральной электростанции ОАО «ММК». Представлены графики распределения количества частичных разрядов в зависимости от величины их зарядов. Выполнена оценка технического состояния трансформаторов.

Ключевые слова: электростанция, трансформаторы, частичные разряды, замеры, разрядная активность, техническое состояние, критерии, оценка.

Experiments on gauging of discharge activity of mains transformers of the central power station of open joint-stock company «ММК» Are fulfilled. Graphics of allocation of quantity of partial bits depending on magnitude of their charges are presented. The estimation of availability index of product of transformers is fulfilled.

Key words: power station, transformers, partial bits, indications, discharge activity, availability index of product, criteria, an estimation.

Задачами исследований, результаты которых приводятся ниже, являются акустическая локация и обработка информации о частичных разрядах (ЧР) в объемных зонах (баках) трансформаторов энергоблоков центральной электростанции (ЦЭС) ОАО «ММК». Экспериментальные исследования выполнялись на шести трансформаторах, перечень которых представлен в табл. 1.

Измерение разрядной активности

Замеры проводились с помощью переносного прибора анализа частичных разрядов и локации зон дефектов в изоляции высоковольтного оборудования АР-700. С этой целью на внешних сторонах бака устанавливались акустические датчики. Выбор места их расположения осуществлялся согласно методике, рекомендованной фирмой-разработчиком прибора – ПФВ «Вибро-Центр» [1].

1. Датчики устанавливались на южной либо северной сторонах бака на расстоянии 50 см друг от друга.

2. Порог сигнала для всех трансформаторов задавался на уровне 50% максимального значения. При обработке результатов принимались во внимание сигналы, превышающие этот порог.

3. Настройки шума варьировались в зависимости от конкретного трансформатора и находились в пределах 45–50 мВ.

4. Замеры производились в течение 60-ти с.

Пример расположения датчиков на баке трансформатора № 5 и подключение прибора АР-700 показаны на рис. 1. Датчики устанавливались как на стороне низкого, так и на стороне высокого напряжений. Рассматривались варианты установки вблизи высоковольтных вводов, однако это вызвало определенные технические трудности.

Таблица 1

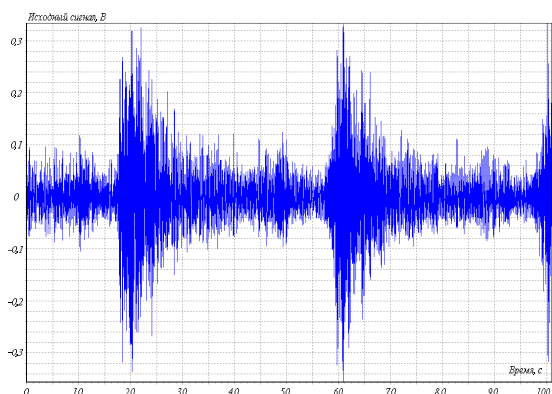
Силовые трансформаторы ЦЭС

Расположение и назначение	Станционный номер	Тип и завод изготовитель	Заводской номер	Год выпуска / срок эксплуатации (лет)
П/ст-110кВ энергоблок	Тр-р №1	ТРДН - 40000 / 110-76У1, г.Тольятти	9835	1978 / 30
П/ст-110кВ система	Тр-р №2	ТРДЦН - 63000 / 110-76У1, г.Тольятти	13580	1983 / 25
П/ст-110кВ система	Тр-р №3	ТРДЦН - 63000 / 110-76У1, г.Тольятти	11964	1981 / 27
П/ст-110кВ энергоблок	Тр-р №4	ТДЦНГУ-80000, г.Москва	927673	1968 / 40
П/ст-110кВ система	Тр-р №5	ТРДН - 63000 / 110- У1, г.Москва	1482839	2000 / 8
П/ст-110кВ система	Тр-р №6	ТРДН - 63000 / 110- У1, г.Москва	1573104	1998 / 10

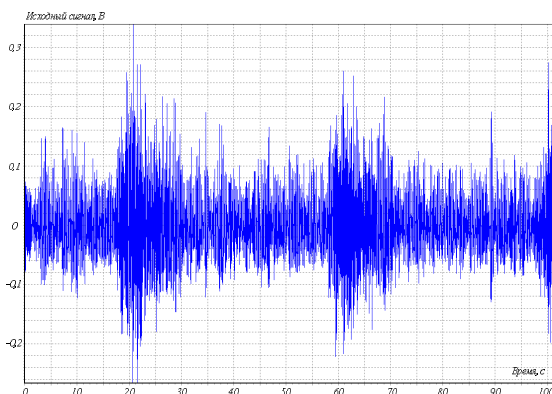


Рис. 1. Пример установки датчиков прибора AR-700

На рис. 2 представлены характерные временные диаграммы, полученные на трансформаторе № 5. Акустические всплески, зафиксированные в исходных сигналах, поступающих с датчиков, характеризуют амплитуду, частоту и длительность ЧР.



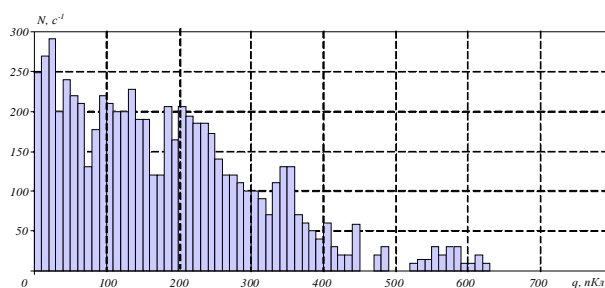
а



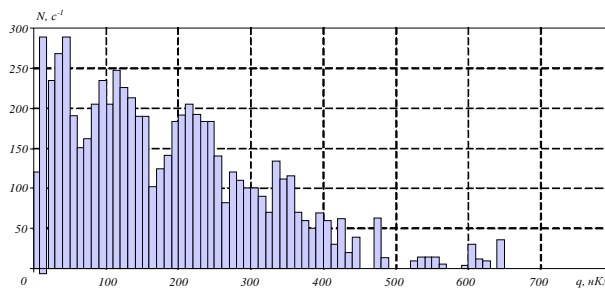
б

Рис. 2. Осциллограммы акустических сигналов с акустических каналов № 1 (а) и №2 (б)

Для оценки технического состояния объекта необходимы обработка данных, полученных по итогам единичных замеров, и их анализ. Для этого удобно представить экспериментальные результаты в виде графики изменения интенсивности ЧР в функции их амплитуды (либо кажущегося заряда) [2]. По итогам обработки результатов замеров, выполненных по сигналам от каждого из четырех акустических датчиков, получены распределения числа ЧР N по их зарядам q , пример которых представлен на рис. 3. При обработке результатов замеров подсчитывалось количество разрядов с амплитудой, превышающей заданный порог 50 мВ. Кроме того, ограничивались учетом только тех ЧР, которые повторяются не менее 10 раз за секунду. Предварительно выделялся спектр сигнала и осуществлялось обратное преобразование Фурье. Данные вычислительные операции выполняются с помощью программного обеспечения AtlantdB, входящего в программный пакет прибора AR-700 [3].



а



б

Рис. 3. Распределение числа ЧР в зависимости от заряда по сигналам с первого (а) и второго (б) датчиков

Из анализа диаграмм следует, что

- диапазоны сигналов ЧР, замеренных разными датчиками, практически совпадают и находятся в пределах $N=0-300 \text{ c}^{-1}$ (от 0 до 6 имп./с);
- по мере роста кажущегося заряда количество ЧР снижается, при этом зависимости имеют почти монотонный спадающий характер, что совпадает с результатами, представленными в [4].

Критерии оценки технического состояния

Диагностирование технического состояния силовых трансформаторов, автотрансформаторов, шунтирующих реакторов и вводов методом регистрации ЧР рекомендуется выполнять в соответствии с методическими указаниями МУ 0634-2006, утвержденными концерном «Ро-энергоатом» в 2006 г. [5]. Согласно этой методике на трансформаторах, рекомендованных к обследованию, проводятся измерения следующих характеристик разрядных явлений в активной части, вводах и РПН:

- определение распределений $N(q)$ для подтверждения факта повышенной разрядной активности;
- проведение объемной локализации для идентификации зоны с повышенной разрядной активностью;
- определение формы разрядного явления (выявляются частичный разряд в изоляции, искрения между витками, дуговые процессы).

В соответствии с рекомендациями [5] трансформаторы разделяются на три группы в зависимости от характера $N(q)$ (рис. 4):

1) С состоянием изоляции, соответствующим критерию «НОРМА» – если q_{max} менее принятого уровня помех и ниже кривой №1 (область, ограниченная сверху кривой №1).

2) С состоянием изоляции, соответствующей «НОРМА С ОТКЛОНЕНИЯМИ» и «НОРМА СО ЗНАЧИТЕЛЬНЫМИ ОТКЛОНЕНИЯМИ» – если q_{max} лежит в области между кривыми №1 и №2.

3) С состоянием изоляции, соответствующем «УХУДШЕННОМУ» – если полученная зависимость $N(q)$ превышает критериальную (область, лежащая выше кривой №2).

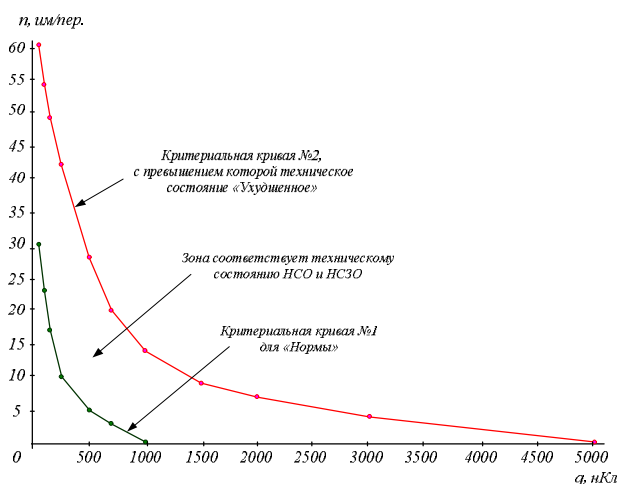


Рис. 4. Критериальные кривые для трансформаторов согласно методике МУ 0634-2006

Поскольку амплитуда ЧР, измеренных на трансформаторах ЦЭС, не превышает 500 мВ, а интенсивность – не выше 300 имп./с (6 имп./пер.), в соответствии с рис. 4, состояние всех трансформаторов соответствует критерию «НОРМА». Рекомендована дальнейшая эксплуатация без ограничений.

В табл. 2 представлены возможные неисправности, соответствующие принятому разделению, а также рекомендации обслуживающему персоналу по дополнительному контролю и профилактическим мероприятиям. В табл. 3 представлены общие признаки, по которым может быть осуществлена предварительная локализация неисправностей в изоляции обмоток и магнитопровода трансформатора [4].

Кривые, представленные на рис. 4, могут считаться универсальными с достаточно высокой степенью достоверности, поскольку представленные критерии являются явно завышенными. Очевидно, что подобные кривые должны быть построены для различных типоразмеров трансформаторов. Для более достоверной оценки технического состояния необходимо проведение заме-

ров при различных исходных условиях. Наиболее просто этого добиться можно в условиях пассивного эксперимента при изменениях нагрузки и температуры.

Таблица 2

Классификация технического состояния изоляции трансформаторов по результатам измерений характеристик ЧР и рекомендации по объемам организационно-технических мероприятий

Классификация технического состояния	Описание возможного дефекта и явлений в нем	Рекомендации эксплуатационному персоналу
НОРМА	Дефекта изоляции нет. Явления ионизационного характера отсутствуют	Эксплуатация без ограничений, профилактика согласно нормативно-технической документации, отнестись к срокам ремонтов на позднее время
Норма с наличием отклонений	Имеются признаки возможной неисправности «Точечный источник ЧР», «Слабые дуговые явления». Стадия развития – начальная, без динамики увеличения. Разряды в газовых полостях, образующихся в масле при плохой пропитке или из-за перенасыщения газами	Эксплуатация с выполнением контроля трансформаторного масла
Норма с ростом отклонений	Начальная степень неисправности «Точечный источник ЧР», «Дуговые явления». Динамика роста величин характеристик ЧР. Разряды в газовых полостях, образующихся при перенасыщении масла газами или высокой влажности, тренинг или перфорация бумажной изоляции	Вводить ограничения по эксплуатации. 1) Дополнительная диагностика (ГХ-анализ проб масла, анализ фурановых соединений). 2) Дополнительная локализация ЧР-активности
Ухудшенное состояние	Развивающийся дефект «Многоочаговые ЧР», «Дуга». Интенсивные частичные разряды в маслянобарьерной изоляции с образованием ползущего разряда. Искрения в масляных каналах в местах контактов с «плавающим потенциалом» металлических деталей. Пробы масляных промежутков. Локация определяет наличие дефектов в ответственных изоляционных узлах	Ограничение эксплуатационных воздействий, планирование ремонта. 1) Углубленный контроль состояния в эксплуатации несколькими методами (измерения ЧР, ГХ-анализ). 2) Локализация дефекта осциллографированием. 3) Планирование измерений на рабочем напряжении и профилактического ремонта
Предаварийное состояние	Аварийный дефект «Признаки деградации», «Мощная дуга» Устойчивое формирование регулярных ползущих разрядов, искровые разряды в каналах, образование дуги между витками или деталями обмотки и магнитопровода	1) Немедленный вывод из работы. 2) В случае отсутствия возможности останова (по ряду причин – социальных, экономических и т.д.) – создание системы непрерывного мониторинга или углубленного контроля проб масла (не реже одного раза в неделю)

Таблица 3

Условия локализация разрядной активности в изоляции конструктивных элементов силовых трансформаторов

Характеристики активности ЧР	Изоляция обмоток трансформатора	Изоляция магнитопровода	Результаты измерения
Отсутствие признаков дефекта	Фиксируются только шумы, шумовая дорожка (белый шум) не более 20 пКл		Участки с ЧР отсутствуют
Точечный источник ЧР	Имеется несколько мест (участков) с ионизационными процессами, одна или две моды, два-три типа осциллограмм	Имеются редкие случайные импульсы от ЧР, которые фиксируются в одном периоде сетевого напряжения	Определяется несколько участков с ЧР-активностью
Многоочаговые ЧР в изоляции	Имеется 5–7 мест с источником ЧР в участках с наибольшим потенциалом. На кривой $N(q)$ несколько мод	Повторяемость сигналов в каждом периоде сетевого напряжения. На кривой $N(q)$ отмечается некоторый интервал с сигналом или модой	
Признаки деградации изоляции	Число мест с ЧР более 10, $N(q)$ является падающей, нет отчетливых максимумов для очагов ЧР на участках с наибольшим потенциалом	На кривой $N(q)$ наличие 3–5 пиков, соответствующих ЧР в изоляции магнитопровода	Имеется протяженная зона с ЧР-активностью

В результате многократных экспериментов по акустической локации ЧР, выполненных на трансформаторах ЦЭС в течение 2,5 лет, сделаны следующие выводы:

1. Подтверждены основные достоинства акустического метода:

- оперативность – измерение, контроль и последующий анализ результатов проводятся без снятия силового напряжения;
- принципиальная возможность достоверного диагностирования нарушений технического состояния трансформатора и локализации участков возникновения повреждений.

2. Подтверждена целесообразность проведения дальнейших диагностических обследований трансформаторов ЦЭС с применением переносного прибора анализа частичных разрядов и локации зоны дефектов в изоляции высоковольтного оборудования. Целью таких исследований является сбор статистической информации, позволяющей сделать однозначные выводы о техническом состоянии, характере неисправностей и местах возникновения дефектов.

3. Подтверждена прямая взаимосвязь частоты возникновения ЧР и длительности эксплуатации трансформатора после капитального ремонта. Накопление информации и обработка сигналов позволят определить количественные характеристики ЧР, перечень которых представлен в [2]. С этой целью даны

рекомендации по приобретению и установке на трансформаторах №1–4 (с наиболее продолжительными сроками эксплуатации) стационарных приборов с целью постоянного контроля развития ЧР. Для остальных трансформаторов рекомендовано проведение периодических замеров с частотой не реже одного раза в 6 месяцев.

Обработка результатов путем визуальной оценки числа импульсов и их амплитуд не позволяет обеспечить высокой точности. Вместе с тем, по диаграммам, представленным на рис. 3, можно судить о частоте возникновения ЧР, уровне их амплитуд либо кажущихся зарядов и сделать предварительные выводы о техническом состоянии. С целью идентификации повреждений целесообразно более четко локализовать места повышенной разрядной активности (скопления ЧР) и проследить динамику их развития. Для этого необходимо применить методы математической обработки динамически изменяющихся данных, наиболее приемлемым из которых является метод кластерного анализа [6].

Список литературы

1. Прибор анализа частичных разрядов и локации зоны дефектов в изоляции высоковольтного оборудования при помощи акустических датчиков «AR700»: руководство по эксплуатации. Пермь: ПФ «Вибро-Центр». 23 с.
2. ГОСТ 20074-83. Электрооборудование и электроустановки. Методы измерения характеристик частичных разрядов.
3. База данных по акустическим сигналам АТЛАНТ-ДБ. Руководство пользователя. Пермь: ПФ «Вибро-Центр». 9 с.
4. Аксенов Ю.П. Мониторинг технического состояния высоковольтной изоляции электрооборудования энергетического назначения в эксплуатации и при ремонтах. М.: Научтехлитиздат, 2002. 338 с.
5. Методические указания по диагностике силовых трансформаторов, автотрансформаторов, шунтирующих реакторов и их вводов МУ 0634-2006. Концерн «РОСЭНЕРГОАТОМ». <http://leg.co.ua/knigi/oborudovanie/diagnostika-transformatorov-i-shuntiruyuschih-reaktorov.html>
6. Алгоритм оценки технического состояния трансформатора по характеристикам частичных разрядов с использованием метода кластерного анализа / А.С. Карандаев, С.А. Евдокимов, В.А. Кузнецов и др. // Энергосбережение, электромагнитная совместимость и качество в электрических системах: сборник статей II Междунар. науч.-практ. конференции. Пенза: Приволжский Дом знаний, 2011. С. 130–133.

Bibliography

1. The instrument of the assaying of partial bits and a location of allowed band of defects in insulation of the high-voltage equipment by means of sonic sensors «AR700». The Operating manual. Perm: ПФ «Vibro-centre». 23 with.
2. GOST 20074-83. An electric equipment and electrical installations. Methods of gauging of characteristics of partial bits.
3. A database on audible signal ATLANT-DB. The User manual. - Perm: ПФ «Vibro-centre». 9 with.
4. Aksenov JU.P. Monitoring of availability index of product of a high-voltage insulation of an electric equipment of energetic assignment in maintenance and at reconditioning. - M: НТХЛ, 2002. - 338 with.
5. Methodical directions for to diagnostic of mains transformers, the autotransformers, bypassing chokes and their feedings into МУ 0634-2006. Concern «ROSENERGOATOM». -<<http://leg.co.ua/knigi/oborudovanie/diagnostika-transformatorov-i-shuntiruyuschih-reaktorov.html>
6. Algorithm of an estimation of availability index of product of the transformer under characteristics of partial bits with usage of a method of cluster analysis / A.S.Karandaev, S.A.Evdokimov, V.A.Kuznetsov, etc.//the Energy conservation, electromagnetic compatibility and quality in electrical systems: the Collector of papers of II International scientifically-practical conference. Penza: the Privolzhsky Dwelling of knowledge, 2011. With. 130–133.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Агапитов Евгений Борисович – канд. техн. наук, проф., зав. кафедрой теплотехнических и энергетических систем ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519) 29-85-28, 29-84-21. E-mail: jek_agapitov@mail.ru.

Алехин Юрий Георгиевич – канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой «Технология металлов и ремонт машин» ФГОУ ВПО «Курская государственная сельскохозяйственная академия им. профессора И.И. Иванова». Тел./факс: 8 (4712) 53-13-30. E-mail: academy@kgsa.ru.

Ангелов Валерий Андреевич – аспирант кафедры подземной разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: Angelov.Valerii@mail.ru.

Баранов Владимир Николаевич – канд. техн. наук, доц. кафедры «Литейное производство» института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Тел.(8391) 213-36-21. E-mail: vnbar79@mail.ru.

Белевский Леонид Сергеевич – д-р техн. наук, проф. кафедры прикладной механики и графики ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8 (3519) 29-84-38. Email: l.belevskiy@mail.ru.

Беспалов Вадим Михайлович – аспирант кафедры обработки металлов давлением института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Тел.(8391) 206-37-31. E-mail: attitude@mail.ru.

Буторин Геннадий Иванович – канд. техн. наук, доц., научный руководитель лаборатории ОАО «Уральский научно-исследовательский институт абразивов и шлифования», г. Челябинск. Email: normativ_abraziv@mail.ru.

Вагин Владимир Сергеевич – канд. техн. наук, проф. кафедры горных машин и транспортно-технологических комплексов ФБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова». E-mail: zabibova@mail.ru.

Витик Светлана Владимировна – преподаватель кафедры теории и методики социальной работы Магнитогорского государственного университета, соискатель Уральского федерального университета (г.Екатеринбург). Тел. (3519) 23-83-58. Email: svital2@rambler.ru.

Войнова Евгения Сергеевна – канд. экон. наук, ст. преп. кафедры финансов и бухгалтерского учета ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Email: jenia-v@yandex.ru.

Гавришев Сергей Евгеньевич – д-р техн. наук, проф., директор Института горного дела и транспорта ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел: (3519)29-85-75. E-mail: otmpr-cg@mail.ru.

Гадалов Владимир Николаевич – д-р. техн. наук, проф. кафедры «Материаловедение и сварочное производство» Юго-Западного государственного университета, г. Курск. Тел. (4712) 50-68-80. E-mail: Gadalov-VN@yandex.ru.

Герасимов Василий Яковлевич – д-р техн. наук, проф. кафедры теоретической механики и сопротивления материалов. ФГБОУ ВПО «Курганский государственный университет». Тел. (3522)469044. E-mail: rector@kgu.kurgan.ru.

Гоготин Алексей Анатольевич – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры подземной разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел: (3519)29-84-66. E-mail: gogotin@rambler.ru.

Гончарова Ольга Николаевна – ассист. ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)». E-mail: Romanova_Olga_2000@mail.ru.

Горохов Юрий Васильевич – канд. техн. наук, доц. кафедры обработки металлов давлением института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета, г.Красноярск. Тел.8 (391) 213355

Гун Игорь Геннадьевич – д-р техн. наук, проф. кафедры технологий, сертификации и сервиса автомобилей ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: разработка и исследование современных агрегатов для производства стальных полос. Тел. (3519)29-84-31.

Данилов Геннадий Владимирович – канд. экон. наук, доц. кафедры финансов и бухгалтерского учета ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Email: jenia-v@yandex.ru.

Девятов Дилаур Хасанович – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой вычислительной техники и прикладной математики. Направление исследований: разработка систем управления технологическими процессами в черной металлургии. Тел. 8 (3519) 29-85-63. E-mail: vt-pm@magtu.ru.

Довженко Иван Николаевич – канд. техн. наук, доц. кафедры обработки металлов давлением института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Тел.(8391) 206-37-31. E-mail: ivandov@mail.ru.

Довженко Николай Николаевич – д-р техн. наук, директор института нефти и газа ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», профессор кафедры обработки металлов давлением, г. Красноярск. Тел. (8391) 293-78-46. E-mail: n.dovzhenko@bk.ru.

Евдокимов Сергей Алексеевич – канд. техн. наук, доц. кафедры электроники и микроэлектроники ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: evdmagnit@yandex.ru.

Емельяненко Елена Алексеевна – канд. техн. наук, доц. кафедры маркшейдерского дела и геологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519)29-85-42.

Емельяненко Михаил Михайлович – студент 4 курса кафедры маркшейдерского дела и геологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519) 29-85-42.

Жумашев Калкман – д-р техн. наук, зав. лабораторией «Физико-химия комплексного использования конденсированных отходов» Химико-металлургического института, г. Караганда, Казахстан. Направление исследований: цветная металлургия. Тел. 43-31-61. E-mail: hmi@mail.krg.kz.

Исмагилов Рамиль Равкатович – ведущий специалист по валкам и подшипникам отдела оборудования ОАО «Магнитогорский мнталлургический комбинат». Тел. 8 (3519) 24-75-20. Email: valki@mmk.ru.

Казakov Александр Сергеевич – канд. техн. наук, ведущий специалист лаборатории непрерывной разливки стали ОАО «Магнитогорский мнталлургический комбинат». Тел.8(3519)25-45-52. E-mail: kazakov.as@mmk.ru.

Кайралапов Ерлан Токпаевич – научный сотрудник Химико-металлургического института, г. Караганда, Казахстан. Направление исследований: цветная металлургия. Тел. 43-31-61. E-mail: hmi@mail.krg.kz.

Калмыков Вячеслав Николаевич – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой подземной разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел: (3519)29-84-61. E-mail: prmpr@magtu.ru.

Карандаев Александр Сергеевич – д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотр. кафедры электротехники и электротехнических систем ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: разработка энергосберегающих и высокодинамичных электроприводов, диагностика электрооборудования. E-mail: askaran@mail.ru.

Каримова Люция Монировна – канд. хим. наук, ст. науч. сотр. Химико-металлургического института, г. Караганда, Казахстан. Направление исследований: цветная металлургия. Тел. 43-31-61. E-mail: lutsia.08@mail.ru.

Касатая Ирина Леонидовна – ст. преп. кафедры «Менеджмент и маркетинг» РКП «Рудненский индустриальный институт», Республика Казахстан. Тел. 8-714-31-50401 (доб. 113). E-mail: pekas@mail.ru.

Катрюк Виктор Петрович – доц. кафедры обработки металлов давлением Института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета, г.Красноярск. Тел. 8 (391) 2133550.

Квашин Борис Николаевич – канд. техн. наук, доц. кафедры «Управление качеством и машиностроительные технологии» Воронежской государственной технологической академии. Тел./факс: (4732) 53-26-30, 55-19-49. E-mail: bobkuk@mail.ru.

Колокольцева Евгения Валерьевна – аспирант Санкт-Петербургского государственного университета экономики и финансов. E-mail: black_tiger09@list.ru.

Кольга Анатолий Дмитриевич – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой горных машин и транспортно-технологических комплексов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел: (3519)29-85-45.

Корнилов Сергей Николаевич – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой промышленного транспорта ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел: (3519)29-85-34. E-mail: kornilov_sn@mail.ru.

Леднев Александр Сергеевич – студент Воронежского государственного технического университета. E-mail: Tat120675@yandex.ru.

Лопатина Екатерина Сергеевна – канд. техн. наук, доц. кафедры МИТОМ института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Тел.(8391) 213-32-86. E-mail: chudo_lyuda@mail.ru.

Мезин Дмитрий Анатольевич – начальник лаборатории КХП ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Тел. 8(3519) 24-46-54.

Мирзаев Джалал Аминович – д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры физического металловедения и физики твёрдого тела Южно-Уральского государственного университета, г. Челябинск. Тел. (351)2679013. E-mail: mirzayev@physmet.susu.ac.ru.

Мирзоев Александр Аминович – д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры общей и теоретической физики Южно-Уральского государственного университета г. Челябинск. Тел. (351)2654713. E-mail: mirzoev@physics.susu.ac.ru.

Моисеев Владимир Олегович – аспирант каф. автоматизированного электропривода и мехатроники ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: iskar@mail.ru.

Мошкунов 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: mcm@magtu.ru.

Огарков Николай Николаевич – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой технологии машиностроения ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8 (3519) 29-84-69. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Окишев Константин Юрьевич – канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры физического металловедения и физики твёрдого тела Южно-Уральского государственного университета, г. Челябинск. Тел. (351)2679013. E-mail: ok-ishev@physmet.susu.ac.ru.

Омаров Казбек Алтынсарович – д-р техн. наук, проф. КазНТУ им.К.И.Сатпаева, г. Алматы, р.Казахстан.

Омарова Томерис Казбековна – магистрантка КазНТУ им.К.И.Сатпаева, г. Алматы, р. Казахстан.

Омельченко Евгений Яковлевич – канд. техн. наук, доц. кафедры автоматизированного электропривода и мехатроники ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Тел. 8(3519) 29-68-40, 29-85-29. E-mail: momentum2@yandex.ru.

Осипов Владимир Владимирович – канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры высшей математики Института фундаментальной подготовки Сибирского федерального университета, г.Красноярск. Тел. 8 (391) 2687024.

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». Тел. 8 (3519) 29-84-32. E-mail: pk_su@bk.ru.

Парышев Дмитрий Николаевич – генеральный директор ЗАО «Курганстальмост». Тел.(3522) 410050. E-mail: contact@kurganstalmost.ru.

Пашнева Татьяна Владимировна – канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры ВМФММ Воронежского государственного технического университета. E-mail: Tat120675@yandex.ru.

Первухин Михаил Викторович – канд. техн. наук, докторант политехнического института ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Тел.(8391) 242-48-94. E-mail: pmv_75@mail.ru.

Петрова Ольга Викторовна – канд. техн. наук, доцент кафедры подземной разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел: (3519)29-84-66. E-mail: petrova.1977@mail.ru.

Пиньковецкая Юлия Семеновна – канд. экон. наук, ассистент кафедры экономико-математических методов и информационных технологий Ульяновского государственного университета. E-mail: judy54@yandex.ru.

Пыталев Иван Алексеевич – канд. техн. наук, доцент кафедры промышленного транспорта ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел: (3519)29-85-16. E-mail: vehicle@list.ru.

Раскатов Евгений Юрьевич – канд. техн. наук, доц. кафедры «Металлургические и роторные машины» ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург. E-mail: raskatov@pochta.ru.

Романенко Дмитрий Николаевич – канд. техн. наук, доц., и.о. зав. кафедрой «Материаловедение и сварочное производство» Юго-Западного государственного университета, г. Курск. Тел. (4712) 58-71-04. E-mail: Romanenko-kstu46@yandex.ru.

Руднева Ирина Геннадьевна – канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры физики и химии Военного авиационного инженерного университета (г. Воронеж). E-mail: irrudneva@mail.ru

Рыжова Ирина Геннадьевна – ст. преп. кафедры финансов и бухгалтерского учета ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технического университета им. Г.И. Носова». Email: jenia-v@yandex.ru.

Савина Юлия Евгеньевна – аспирант, ассистент кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: savina_julia87@mail.ru.

Салганик Виктор Матвеевич – д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, зав. кафедрой обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: обработка металлов давлением, автоматизация прокатного производства. Тел. (3519)232085. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Сальников Владимир Григорьевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Материаловедение и сварочное производство» Юго-Западного государственного университета, г.Курск. Тел./факс: (4712) 58-71-04. E-mail: svarka-kstu@mail.ru;

Сарлыбаев Артур Азатович – инженер-электроник I категории цеха эксплуатации электрооборудования электросталеплавильного цеха ООО НПО «Автоматика». Тел. (3519) 24-26-18. E-mail: mahmutov@mmk.ru.

Семенова Ольга Анатольевна – преподаватель инженерной графики Многопрофильного колледжа ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Тел. (3519) 22-74-74.

Сергеенко Сергей Николаевич – канд. тех. наук, профессор ФГБОУ ВПО «Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)». Тел.: (8635) 24-48-13. E-mail: sergeenko@gmail.com.

Сибгатуллин Салават Камилевич – д-р техн. наук, проф. кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Тел.: 8(3519) 29-84-30. Email: 10skt@mail.ru.

Сидельников Сергей Борисович – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой обработки металлов давлением института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Тел.(8391) 206-37-31. E-mail: sbs270359@yandex.ru.

Солопко Ирина Владимировна – ст. преп. кафедры информационных систем и технологий в металлургии Института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета, г.Красноярск. Тел. 8(391)2133519. E-mail: IVS7@Inbox.ru.

Степанов Евгений Николаевич – канд. техн. наук, старший менеджер КХП ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Тел. 8(3519) 24-46-54.

Столовских Иван Никитович – д-р техн. наук, проф. КазНТУ им.К.И.Сатпаева, г. Алматы, р. Казахстан.

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.

Сушко Татьяна Ивановна – канд. техн. наук, доцент кафедры ФХТЛП Воронежского государственного технического университета. E-mail: Tane2020102010@mail.ru.

Темержанов Адиль Туманбекович – докторант КазНТУ им.К.И.Сатпаева, г. Алматы, р. Казахстан.

Теплых Елена Олеговна – аспирант кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519) 29-84-30.

Трифоненков Леонид Петрович – руководитель проекта департамента литейных проектов ООО «РУСАЛ ИТЦ», г. Красноярск. Тел (8391) 256-40-29. E-mail: Leonid.Trifonenkov@rusal.com

Туркин Иван Сергеевич – магистр кафедры горных машин и транспортно-технологических комплексов ФБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова». E-mail: Sailor19@yandex.ru.

Федосеев Сергей Анатольевич – канд. физ.-мат. наук, доц., ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». Направление исследований: управление сложными системами. E-mail: fsa@gelicon.biz.

Фетисов Вадим Борисович – мастер загрузки доменного цеха ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

Харченко Александр Сергеевич – аспирант кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519)

29-84-30. Email: as.mgtu@mail.ru.

Чаплыгин Борис Александрович – д-р техн. наук, генеральный директор ОАО «Уральский научно-исследовательский институт абразивов и шлифования» г.Челябинск. Email: normativ_abraziv@mail.ru.

Черчинцев Вячеслав Дмитриевич – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519)298515.

Шабуров Андрей Дмитриевич – аспирант кафедры физического металловедения и физики твердого тела Южно-Уральского государственного университета, г.Челябинск. Тел. (351)2679013. E-mail: adshaburov@mail.ru.

Шеметова Елена Сергеевна – ассистент кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: hellensh88@list.ru.

THE INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Agapitov Evgenie Borisovich – Ph.D., professor, candidate of the technical sciences Head Department Thermal engineering and energy systems of Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov. Phone: (3519) 29-85-28, 29-84-21. E-mail: jek_agapitov@mail.ru.

Alekhin Yury Georgievich – Ph.D., the senior lecturer managing chair «Technology of metals and repair of cars», FGOU VPO Kursk state agricultural academy of professor I.I. Ivanov. Phone /fax: 8(4712) 53-13-30. E-mail: academy@kgsha.ru.

Angelov Valerii Andreivich – post-graduate student at the department of the underground mining of natural resources at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». E-mail: Angelov.Valerii@mail.ru.

Baranov Vladimir Nikolaevich – candidate of science, docent of Department of foundry proceedings at the Institute of Nonferrous Metals and Materials Science FSEI HPE «Siberian Federal University», Krasnoyarsk. Phone: (8391) 213-36-21. E-mail: vnbar79@mail.ru.

Belevskiy Leonid Sergeevich – doctor of tech. sci., professor of the applied me-chanics department. Educational institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: 8 (3519) 29-84-38. Email: l.belevskiy@mail.ru.

Bespalov Vadim Mihailovich – post-graduate student of the Department of pressure treatment of metals at the Institute of Nonferrous Metals and Materials Science FSEI HPE «Siberian Federal University», Krasnoyarsk. Phone: (8391) 206-37-31. E-mail: attitude@mail.ru.

Bytorin Gennadiy Ivanovich – candidate of science (Technology), the Associate Professor, scientific laboratory head JSC «Ural scientific research institute of abrasives and grinding». Email: normativ_abraziv@mail.ru.

Cherchintsev Vyacheslav Dmitrievich – doctor of technical science, Professor, Director of the department of industrial ecology and life safety of SIE (State Educational Institute) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519)298515.

Chuplygin Boris Aleksandrovich – doctor of technical sciences, the Director-General of JSC «Ural scientific research institute of abrasives and grinding». Email: normativ_abraziv@mail.ru.

Danilov Gennady Vladimirovich – Ph.D in economics, associate Professor of the Finance and Accounting Department of the G.I. Nosov Magnitogorsk State Technical University. Email: jenia-v@yandex.ru .

Devjatov Diljaur Hasanovich – a Dr.Sci.Tech., the professor Managing chair of the Computer Science and Applied Mathematics. A direction of explorations: Development of process control in steel industry. Phone: 8 (3519) 29-85-63. E-mail: vt-pm@magtu.ru.

Dovzhenko Ivan Nikolayevich – candidate of science, docent of pressure treatment of metals at the Institute of Nonferrous Metals and Materials Science FSEI HPE «Siberian Federal University», Krasnoyarsk. Phone: (8391) 206-37-31. E-mail: ivandov@mail.ru.

Dovzhenko Nikolay Nikolayevich – D.Sc., director of Institute of Petroleum and Natural Gas Engineering, FSEI HPE «Siberian Federal University», Professor of the Department of pressure treatment of metals, Krasnoyarsk. Phone: (8391) 293-78-46. E-mail: n.dovzhenko@bk.ru.

Emeljanenko Elena Alekseevna – cand. tech. sci business and geology at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: 29-85-42.

Emeljanenko Mihail Mihailovich – student of the fourth course of chair of Sci business and geology at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: 29-85-42.

Evdokimov Sergey Alekseevich – a Cand. Tech. Sci., the senior lecturer, the senior lecturer of chair of electronics and «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». microelectronics; a direction of explorations: system development of monitoring and diagnostic of a power electric equipment. E-mail: evdmag-nit@yandex.ru.

Fedoseev Sergei Anatoljevich – candidate of the technical sciences; Associate professor of the systems and processes mathematical modeling department, State National Research Polytechnic University of Perm. E-mail: fsa@gelicon.biz.

Fetisov Vadim Borisovich – foreman of the charge of the blast furnace shop OJSC «Magnitogorsk iron-and-steel works».

Gadalov Vladimir Nikolaevich – the doctor of technical science, professor of the chair of «Materials authority and welding fabrication», South West State University. Phone/fax: (4712) 50-68-80. E-mail: Gadalov-VN@yandex.ru.

Galiev Roman Ilisurovich – candidate of science, docent of the

Department of pressure treatment of metals at the Institute of Nonferrous Metals and Materials Science FSEI HPE «Siberian Federal University», Krasnoyarsk. Phone: (8391) 213-35-50.

Gavrishev Sergey Evgenievich – Dr. Tech. Sci., the professor, the Director of the Institute of Mining and Transport of the Federal State Education Institution of the Higher Professional Education (FSEI HPE) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519)298575. E-mail: ormpi-cg@mail.ru.

Gerasimov Vasily Yakovlevich – Doctor of Engineering Science, professor of Department «Teoretical mechanics and resistance of metals» of Kurgan State University. Phone: (3522) 469044. E-mail: rector@kgu.kurgan.ru.

Gogotin Alexey Anatolevich – Cand. Tech. Sci, the senior teacher of the department of underground mining of deposits of minerals of the FSEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519)298534. E-mail: gogotin@rambler.ru.

Goncharova Olga Nikolaevna – assistant South-Russian State Technical University (Novochoerkassk Polytechnic Institute). E-mail: Romanova_Olga_2000@mail.ru.

Gorohov Yuri Vasilyevich – candidate of technical sciences, associate professor «Metal forming department» Institute nonferrous metals and materials technology Siberian federal university, Krasnoyarsk. Phone: 8 (391) 2133550.

Gun Igor Gennadevich – a Dr.Sci.Tech., the professor, the professor of chair «Production engineering, certification and tools of cars», a direction of explorations: development and exploration of modern assemblies for manufacturing of steel strips. Phone: (3519)29-84-31.

Ismagilov Ramil Rafkatovich – the leading specialist of equipment department Magnitogorsk integrated iron and steel works. OJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works». Phone: 8 (3519) 24-75-20. Email: valki@mmk.ru.

Kairalapov Yerlan Tokpaevich – research scientist Chemical and metallurgical Institute, c.Karaganda, Kazakhstan. Research: nonferrous metallurgy. Phone: 43-31-61. E-mail: hmi@mail.krg.kz.

Kalmykov Vyacheslav Nikolaevich – doctor of technical science, professor, head of natural resources at the State Education Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519)29-85-34. E-mail: prmpi@magtu.ru.

Karandaev Alexander Sergeevich – a Dr.Sci.Tech., the professor, the principal scientific employee of chair of an electrical engineering and electrotechnical systems of Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov. A direction of explorations: development energy saving and high dynamic electric drives, electric equipment diagnostic. E-mail: askaran@mail.ru

Karimova Lyutsiya Monirovna – candidate of technical sciences, elder research scientist Chemical and metallurgical Institute, c.Karaganda, Kazakhstan. Research: nonferrous metallurgy. Phone: 43-31-61. E-mail: lutsia.08@mail.ru.

Kasataya Irina Leonidovna – Senior Lecturer of department of Management and Marketing, RSCE «Rudnyi Industrial Institute», Republic of Kazakhstan. Phone: 8-714-31-50401 (доб. 113). E-mail: pekas@mail.ru.

Katrjuk Victor Petrovich – associate professor «Metal forming department» Institute nonferrous metals and materials technology Siberian federal university, Krasnoyarsk. Phone: 8 (391) 2133550.

Kazakov Alexander Sergeevich – candidate of technical science, senior expert of the Continuous Steel Casting Laboratory, Central Laboratory . OJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works». Phone number: 8(3519)25-32-87. E-mail: kazakov.as@mmk.ru.

Kharchenko Alexander Sergeevich – post-graduate student of the department of metallurgy of ferrous metals of «MSTU named after G.I. Nosov». Phone: 8(3519) 29-84-30. Email: as.mgtu@mail.ru.

Kolga Anatolij Dmitrievich – doctor of technical science, Professor Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov.

Kolokolceva Evgeniy Valerievna – postgraduate student of Sankt-Petersburg State University of Economics and Finance.

Kornilov Gennady Petrovich – doctor of technical science, associate professor, head of the department «Power supply industrial enterprises» of SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519)298479. E-mail: Korn_mgn@mail.ru.

Kornilov Sergey Nikolayevich – Dr. Tech. Sci., the professor, head of the department of industrial transport of the FSEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519)298534. E-mail: kornilov_sn@mail.ru.

Kvashnin Boris Nikolaevich – Ph.D., the senior lecturer of chair «Quality management and machine-building technologies», the Voro-

nezh state technological academy. E-mail: bobkuk@mail.ru; bodies. Phone/fax: (4732) 53-26-30, 55-19-49.

Lednev Alexander Sergeevich – a Student of Voronezh State Technical University. E-mail: Tat120675@yandex.ru.

Lopatina Ekaterina Sergeevna – candidate of science, docent of Department of Metallurgy and heat treatment of metals at the Institute of Non-ferrous Metals and Materials Science FSEI HPE «Siberian Federal University», Krasnoyarsk. Phone: (8391) 213-32-86. E-mail: chudo_lyuda@mail.ru

Mezin Dmitriy Anatolevich – OJSC «Magnitogorsk iron-and-steel works». Phone: 8(3519) 24-46-54.

Mirzaev Dzhahal Aminulovich – doctor of physical and mathematical science, professor of the Physical Metallurgy and Solid State Physics Department, Southern Ural State University. Phone: (351)2679013. E-mail: mirzayev@physmet.susu.ac.ru.

Mirzoev Alexander Aminulaevich – doctor of physical and mathematical science, professor of the General and Theoretical Physics Department, Southern Ural State University. Phone: (351)2679013. E-mail: mirzoev@physics.susu.ac.ru.

Moiseev Vladimir Olegovich – a post-graduate student of automatic electric drive, power electronics, control systems of Magnitogorsk State Technical University named of G.I. Nosov. E-mail: iskar@mail.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 number: 8(3519)29-84-49. E-mail: mcm@magtu.ru

Ogarkov Nikolai Nikolaevich – the doctor of technical science, professor, head of the department of «Technology Engineering», State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: 8 (3519) 29-84-69. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Okishev Konstantin Yurievich – candidate of physical and mathematical science, associate professor of the Physical Metallurgy and Solid State Physics Department, Southern Ural State University. Phone: (351)2679013. E-mail: ok-ishev@physmet.susu.ac.ru.

Omarov Kazbek Altynsanovich – doctor of technical science, Professor KazNTU named after K.I.Satpayev Almaty, Kazakhstan.

Omarova Tomeris Kazbekovna – magistrant KazNTU named after K.I.Satpayev, Almaty, Kazakhstan.

Omelchenko Evgenie Yakovlevich – candidate of the technical sciences, associate professor of Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosova. Scientific interests: automatic electric drive, power electronics, control systems. Phone: 8(3519) 29-68-40, 29-85-29 E-mail: momentum2@yandex.ru.

Osipov Vladimir Vladimirovich – candidate of physical and mathematical sciences, the senior lecturer of chair «Higher mathematics» of Institute of fundamental preparation Siberian federal university, Krasnoyarsk. Phone: 8 (391) 2687024.

Parsunkin Boris Nikolaevich – Magnitogorsk State Technical University by G.I.Nosov, professor of Industrial cybernetics and control systems department, doctor of technic, academician of A.M. Prohorov engineering academy, professor. Phone: 8 (3519) 29-84-32.

Paryshev Dmitry Nicolaevich – General Director of CJSC «Kurganstalnost» Phone: (3522) 410050. E-mail: contact@kurganstalnost.ru

Pashneva Tatyana Vladimirovna – Ph.D in Physics and Mathematics, assistant professor, associated professor of cathedra «Higher Mathematics and Physical and Mathematical Modeling» of Voronezh State Technical University.

Pervuhin Michael Viktorovich – candidate of science, PhD of Polytechnic Institute FSEI HPE «Siberian Federal University», Krasnoyarsk. Phone: (8391) 242-48-94. E-mail: pmv_75@mail.ru.

Petrova Olga Viktorovna – Cand. Tech. Sci., the senior lecturer of the department of un-derground mining of deposits of minerals of the FSEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519)29-85-34. E-mail: petrova.1977@mail.ru.

Pinkovetskaya Julia Semenovna – Candidate of Economic Sciences, assistant of the Economic-mathematical methods and informational technologies department, Ulyanovsk State University. E-mail: judy54@yandex.ru.

Pytalev Ivan Alekseevich – Cand. Tech. Sci., the senior lecturer of the department of in-dustrial transport of the FSEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519)298516. E-mail: vehicle@list.ru.

Raskatov Evgeny Yurievich – Candidate of Technical Sciences, associate professor at the Metallurgical and rotary machines Department, Urals Federal University of the first Russian President Boris Yeltsin. E-mail: raskatov@pochta.ru.

Romanenko Dmitry Nikolaevich – Ph.D., the senior lecturer, acting manage chairs «Materials technology and welding manufacture», Southwest state university. Phone/fax: (4712) 58-71-04. E-mail: Romanenko-kstu@yandex.ru; bodies.

Rudneva Irina Gennadevna – Ph.D in Physics and Mathematics, assistant professor, associated professor of cathedra «Physics and Chemistry» of Military Aviation Engineering University (Voronezh).

Ryzhova Irina Gennadevna – Senior teacher of the Finance and

Accounting Department Magnitogorsk State Technical University of the G.I. Nosov. Email: jenia-v@yandex.ru.

Salganik Victor Matveevich – a Dr.Sci.Tech., the professor, the honoured worker of a science of the Russian Federation, managing chair «Metal forming», a direction of explorations: a metal forming, plate rolling automation, (3519) 23-20-85.

Salnikov Vladimir Grigorevich – Ph.D., the senior lecturer of chair «Materials technology and welding manufacture», Southwest state university. Phone /fax: (4712) 58-71-04. E-mail: svarka-kstu@mail.ru; bodies.

Sarlybaev Arthur Azatovich – the engineer of electronics engineering of I class of department of maintenance of an electric equipment of electric-furnace shop of Open Company NPO «Automatic». Phone: (3519) 24-26-18. E-mail: mahmutov@mmk.ru.

Savina Julia Evgenjevna – a post-graduate student of the department of industrial ecology and life safety of SIE (State Educational Institute) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». E-mail: savina_julia87@mail.ru.

Semenova Olga Anatolevna – the teacher of engineering drawing Multityped College of Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov. Phone: (3519) 22-74-74.

Sergeenko Sergey Nikolaevich – Candidate of Technical Sciences, professor South-Russian State Technical University (Novocherkassk Polytechnic Institute). Phone: (8635) 24-48-13. E-mail: sergeenko@gmail.com.

Shaburov Andrey Dmitrievich – post-graduate student of the Physical Metallurgy and Solid State Physics Department, Southern Ural State University. Phone: (351)2679013. E-mail: adshaburov@mail.ru.

Shemetova Elena Sergeevna – assistant of the department of «Technology Engineering» State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». E-mail: hellensh88@list.ru.

Sibagatullin Salavat Kamillovich – professor of the department of metallurgy of ferrous metals of MSTU named after G.I. Nosov, doctor of technical sciences. Phone: 8(3519) 29-84-30. Email: 10skt@mail.ru.

Sidelnikov Sergey Borisovich – D.Sc., Professor of the Department of pressure treatment of metals at the Institute of Nonferrous Metals and Materials Science FSEI HPE «Siberian Federal University», Krasnoyarsk. Phone: (8391) 206-37-31. E-mail: sbs270359@yandex.ru.

Solopko Irina Vladimirovna – senior lecturer «Information systems and technologies in metallurgy department» Institute space and information technology Siberian federal university, Krasnoyarsk. Phone: 8 (391) 2133519. E-mail: IVS7@Inbox.ru.

Stepanov Evgeniy Nikolaevich – candidate of technical sciences, senior manager of the CCP OJSC «Magnitogorsk iron-and-steel works». Phone: 24-45-54.

Stolpovski Ivan Nikitovich – doctor of technical science, Professor KazNTU named after K.I.Satpayev, Almaty, Kazakhstan.

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 number: 8(3519)29-84-49. E-mail: mcm@magtu.ru.

Sushko Tatyana Ivanovna – Ph.D., assistant professor, associated professor of cathedra «Physics and Chemistry of foundry processes» of Voronezh State Technical University.

Temerzhanov Adil Tumanbecovich – doktorant (Ph.D), KazNTU named after K.I.Satpayev, Almaty, Kazakhstan.

Tepliykh Elena Olegovna – post-graduate student of the department of metallurgy of ferrous metals of «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: 8(3519) 29-84-30.

Trifonenkov Leonid Petrovich – project manager of Department of casting projects «RUSAL ETC» Ltd., Krasnoyarsk. Phone: (8391) 256-40-29. E-mail: Leonid.Trifonenkov@rusal.com.

Turkin Ivan Sergeevich – magistr of the department of mountain cars and transport-technological complexes of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». E-mail: Sailor19@yandex.ru.

Vagin Vladimir Sergeevich – cand. of technical sciences, prof. of the «De-partment of mountain cars and transport-technological complexes» at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». E-mail: zabibova@mail.ru.

Vitik Svetlana Vladimirovna – Lecturer in the theory and methodology of social work Magnitogorsk State University (c. Magnitogorsk), Applicant of the Urals federal University (c. Yekaterinburg). Phone: (3519) 23-83-58. Email: svita12@rambler.ru.

Voinova Evgenie Sergeevna – Ph.D in economics, senior teacher of the Finance and Accounting Department of the G.I. Nosov Magnitogorsk State Technical University. Email: jenia-v@yandex.ru.

Zhumashev Kalkaman – the doctor of technical science, chief laboratory «physics-chemistry of the complex use condensed waste» Chemical and metallurgical Institute, c.Karaganda, Kazakhstan. Research: non-ferrous metallurgy. Phone: 43-31-61. E-mail: hmi@mail.krg.kz.

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 2003**, и распечаткой на стандартных листах бумаги формата А4.

При наборе статьи в **Microsoft Word 2003** 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 $\gamma(t)=I_{n1}/I_{n0}$ 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@ru; vestnik@magtu.ru (с указанием темы сообщения «Вестник МГТУ»).