

ВЕСТНИК

Магнитогорского государственного
технического университета им. Г. И. Носова

№4 (44) декабрь 2013 г.

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

Издается с марта 2003 года

Редакционный совет

Председатель редсовета:

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

Члены редсовета:

А.В. Дуб – ген. директор ОАО НПО

«ЦНИИТМАШ», д-р техн. наук;

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

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

В.М. Счастливцев – зав. лабораторией ИФМ

УрО РАН; академик РАН, д-р техн. наук;

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

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

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

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

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

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

М. Дабала – профессор, Факультет
промышленного инжиниринга
Университета г. Падуя, Италия.

Главный редактор:

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

Первый зам. главного редактора:

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

Зам. главного редактора:

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

Ответственные секретари:

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

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

Редактор: Н.В. Кутекина.

Технический редактор: Г.Н. Лапина.

© ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2013

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

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

код html:

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

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

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

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

Адрес редакции:

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

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

Отпечатан на полиграфическом участке МГТУ им. Г.И. Носова
Подписано к печати 05.12.2013.

Заказ 700. Тираж 1000 экз. Цена свободная.

VESTNIK

of Nosov Magnitogorsk State Technical University

№4 (44) December 2013

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

PUBLISHED SINCE MARCH, 2003

Editorial Board Members

Chairman:

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

Honorary Board Members:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Editor-in-chief:

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

First deputy chief editor:

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

Deputy chief editor:

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

Executive editors:

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

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

Editor: N.V. Kutekina.

Technical editor: G.N. Lapina.

© Federal state budgetary institution of higher professional education
«Nosov Magnitogorsk State Technical University», 2013

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

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

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

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

Editorship address:

455000, Russia, city Magnitogorsk, Lenin prospect, 38

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

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

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

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

Signed for press 2013.12.05.

Order 700. Circulation – 1000 items. Free of charge.

СОДЕРЖАНИЕ

Разработка полезных ископаемых	5	Наноматериалы и нанотехнологии	60
<i>Кубак Д.А., Петухов В.Н., Семенов Д.Г.</i> Исследование влияния группового химического состава комплексных реагентов на эффективность флотации углей.....	5	<i>Каменева А.Л., Сошина Т.О.</i> Физико-механические свойства пленок на основе Ti-Al-N, формируемых импульсным магнетронным распылением при переменном давлении газовой смеси.....	60
<i>Чижевский В.Б., Шавакулева О.П.</i> Обогащение титаномагнетитовых руд с целью получения кондиционного ильменитового концентрата	10	Стандартизация и сертификация управления качеством	65
<i>Зотеев О.В., Калмыков В.Н., Гоготин А.А., Зубков Ан.А., Зубков А.А.</i> Исследование физико-механических свойств отходов обогащения для разработки технологии формирования закладочного массива в выработанном пространстве карьера «Учалинский»	13	<i>Харитонов В.А., Петров И.М.</i> Оценка и направления повышения конкурентоспособности бунтовой арматурной стали	65
Металлургия черных, цветных и редких металлов	18	Надежность и долговечность оборудования	70
<i>Каскин К.К.</i> Жидкофазные процессы прямого получения чугуна и стали	18	<i>Родионов Н.А., Сотников А.Л., Журба В.В.</i> Исследование влияния инерционных нагрузок на нагружение шарнирно-рычажного механизма качания сортовой МНЛЗ	70
<i>Бушуев А.Н., Гюнтер Д.А.</i> Зависимость изменения порозности металлошхты по высоте загрузочной бадны в электросталеплавильном производстве	21	<i>Белевский Л.С., Исмаилов Р.Р.</i> Промышленные испытания валков, изготовленных из слитков электрошлакового переплава, на листовых станах холодной прокатки	74
<i>Панишев Н.В., Бигеев В.А., Черняев А.А.</i> Переработка мелкозернистых отходов металлургического производства с получением гранулированного чугуна и извлечением цинка	26	<i>Кольга А.Д., Айбашев Д.М.</i> Возможности снижения нагрузок в щековых дробилках	77
<i>Колокольцев В.М., Иванова И.В., Петроченко Е.В.</i> Высокотемпературная обработка расплава литейной штамповой стали 4X5B2ФСЛ.....	30	Энергетика металлургии, энергосбережение и электротехнические комплексы	81
Обработка металлов давлением	34	<i>Омельченко Е.Я., Моисеев В.О., Тележкин О.А.</i> Анализ работы регуляторов тока	81
<i>Громов В.Е., Иванов Ю.Ф., Романов Д.А., Вацук Е.С., Танг Г., Райков С.В., Будовских Е.А., Сонг Г.</i> Особенности электровзрывного меднения стали 45 и последующей электронно-пучковой обработки	34	<i>Кузбаков Ж.И.</i> Динамика электропривода щековой дробилки при нагрузке, зависящей от перемещения эксцентрикового вала	85
<i>Окулов Р.А., Паршин С.В.</i> Значение использования противонапряжения в процессе волочения профильных труб	40	Строительные материалы и строительные технологии	89
<i>Хамедон З., Мори К., Маено Т., Ямашита Ю.</i> Горячая штамповка листа из титанового сплава с помощью электроконтактного нагрева	44	<i>Мирюк О.А.</i> Оптимизация фракционного состава техногенного заполнителя мелкозернистого бетона	89
<i>Чукин М.В., Песин А.М., Рыдз Д., Торбус Н., Полякова М.А., Гулин А.Е.</i> Использование целенаправленно создаваемой скоростной асимметрии при прокатке биметалла Ti-Ni	49	Экономика, управление и рынок продукции. Право	94
<i>Песин А.М., Дья Х., Кавалек А., Сажинский П., Пустовойтов Д.О.</i> Использование двух факторов асимметрии при толстолистовой прокатке.....	50	<i>Красносельская Д.Х., Кочетков С.М.</i> Расчет оптимальных пропорций норм накопления физического и человеческого капитала: теоретические и практические аспекты моделирования «нормативных» параметров	94
Материаловедение и термическая обработка металлов	52	<i>Белоногов О.В., Трильев А.Е.</i> Организация службы производственного контроля на Сибайском подземном руднике.....	98
<i>Парусов В.В., Сычков А.Б., Чуйко И.Н., Парусов О.В., Сухомлин В.И.</i> Исследование микроструктуры катанки из легированных сталей сварочного назначения.....	52	<i>Пимонова Т.К.</i> Применение логистических методов управления запасами запасных частей в системе менеджмента промышленного предприятия	103
<i>Федосеева М.А.</i> Прочность и твердость материала Al-FeTi на основе механохимически активированного стружкового порошка Д-16.....	56	<i>Борисов А.Н.</i> Государство как актор правотворческих отношений: предпосылки развития и современное состояние проблемы	106
		Сведения об авторах.....	111

CONTENTS

Mining and Mineral Processing.....	5	Fedoseyeva M.A. Strength and hardness of the Al-FeTi material on the basis of mechanochemically activated chip powder D-16	56
Kubak D.A., Petuchov V.N., Semenov D.G. The investigation of the effect of complex reagents sectional chemical composition on coal flotation efficiency.....	5	Nanomaterials and Nanotechnologies	60
Chyzhevsky V.B., Shavakyleva O. P. Titaniferous magnetite ores enrichment in order to receive conditioning ilmenite concentrates	10	Kameneva A.L., Soshina T.O. Phisico-mechanical properties of films on the ti-al-n basis, deposited by pulsed magnetron sputtering under the influence of variable gas pressure	60
Zoteev O.V., Kalmykov V.N., Gogotin A.A., Zubkov An.A., Zubkov A.A. The investigation of tailings physical and mechanical properties for the development of the method of filling solid mass forming in Uchalinsky quarry waste area	13	Standardization, Certification and Quality Management.....	65
Metallurgy of Ferrous, Non-Ferrous and Rare Metals.....	18	Kharitonov V.A., Petrov I.M. Assessment and ways for competitiveness increasing of coil reinforcing steel.....	65
Kaskin K.K. The liquid-phase processes of iron and steel direct production	18	Safety and Durability of Equipment	70
Bushuyev A.N., Gunter D.A. The dependence of metal furnace charge porosity changing on the charging bucket height in electric furnace steelmaking.....	21	Rodionov N.A., Sotnikov A.L., Jurba V.V. The investigation of inertial loads influence on the loading of hunting hinged lever motion of varietal continuous casting machine.....	70
Panishev N.V., Bigeev V.A., Chernyaev A.A. Fine-grained metallurgical wastes recycling for iron pellets production and zinc extraction	26	Belevskiy L.S., Ismagilov R.R. Industrial tests of rollers produced from electros slag remelting ingots on cold rolling sheet mills	74
Kolokoltsev V.M., Ivanova I.V., Petrochenko E.V. High-temperature processing of melt of casting die steel 4X5B2ΦC	30	Kolga A.D., Aibashev D.M. Performance capabilities to reduce loads in the jaw crushers	77
Metal Forming	34	Metallurgical Power Engineering, Energy Saving and Heat Power.....	81
Gromov V.Ye., Ivanov Yu.F., Romanov D.A., Vaschuk E.S., Tang G., Raykov S.V., Budovskikh E.A., Song G. Characteristics of electroexplosive copper plating of steel 45 and subsequent electron-beam processing	34	Omelchenko E.Y., Moiseev V.O., Telezhkin O.A. Current regulators work analysis	81
Okulov R.A., Parshin S.V. The significance of the back tension usage in cross-sectional tube drawing process	40	Kuzbakov Z.I. The electric drive dynamic of jaw crusher in loading, depending on eccentric shaft transferring.....	85
Hamedon Z., Mori K.-I., Maeno T., Yamashita Y. Hot stamping of titanium alloy sheet using resistance heating	44	Construction Materials and Structural Engineering	89
Chukin M.V., Pesin A.M., Rydz D., Torbus N., Polyakova M.A., Gulin A.E. The use of intentionally created high-speed asymmetry in bimetal Ti-Ni rolling	49	Miryuk O.A. Optimization of technogenic filler fractional proportion of fine grained concrete	89
Pesin A.M., Dyja H., Kawalek A., Szyński P., Pustovoitov D.O. The application of two asymmetry factors in plate rolling.....	50	Economics, Management and Production Market. Law	94
Materials Science and Heat Treatment of Metals.....	52	Krasnoselskaya D.Kh, Kochetkov S.M. The calculation of optimal ratio of physical and human capital accumulation rates: theoretical and practical aspects of «normative» parameters modeling	94
Parusov V.V., Sychkov A.B., Chujko I.N., Parusov O.V., Suhomlin V.I. The investigation of rod microstructure from alloy steel of welding applications.....	52	Belonogov O.V., Trilyev A.E. The organisation of the manufacturing inspection department at the site of sibay underground mine	98
		Pimonova T.K. The application of logistic management methods of stocks spare parts in the management system of the industrial enterprise	103
		Borisov A.N. The state as an actor lawmaking relations: the preconditions of development and modern state of the problem.....	106
		The information about the authors	111

РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.765.063

Кубак Д.А., Петухов В.Н., Семенов Д.Г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРУППОВОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА КОМПЛЕКСНЫХ РЕАГЕНТОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФЛОТАЦИИ УГЛЕЙ

Аннотация. Флотационная активность комплексных реагентов исследована на углях различной стадии метаморфизма. Для углей, относящихся к низкой степени метаморфизма, рационально применять реагенты, содержащие в групповом химическом составе полярные органические соединения. Угли более высокой степени метаморфизма, отличающиеся пониженным содержанием на своей поверхности функциональных группировок и большей пористостью, лучше флотируются комплексными реагентами, содержащими некоторое количество аполлярных органических соединений. Реагент РНХ-3010 состоит преимущественно из полярных кислородсодержащих органических соединений. Для улучшения собирательных свойств комплексного реагента РНХ-3010 исследованы отходы нефтехимической промышленности, содержащие в своем химическом составе различные неполярные органические соединения. Из исследованных отходов рекомендуется добавка КОИПБ, позволяющая повысить технико-экономические показатели процесса. Определено оптимальное соотношение полярных и аполлярных составляющих. Повышенное и пониженное содержание неполярной части приводит к ухудшению показателей пенной флотации. Установлены технологические показатели процесса пенной флотации, позволяющие получать концентрат, удовлетворяющий требованиям коксохимического производства. Гранулометрический состав и плотность исходного питания оказывают существенное влияние на показатели пенной флотации. Достоинствами предлагаемого реагентного режима являются невысокая стоимость, значительные ресурсы и высокая эффективность по сравнению с его аналогами.

Ключевые слова: пенная флотация, реагент, технологические параметры, отходы нефтехимической промышленности.

С целью изучения эффективности действия различных реагентов были проведены исследования с углями различных стадий метаморфизма и различной степенью минерализации, обогащаемых на Беловской обогатительной фабрике (табл. 1).

При флотации угля марки «Ж» и зольностью 13,8% с использованием базового реагентного режима (термогазойль + КОБС) был получен концентрат зольностью 9,0%, зольность отходов при этом составила 48,5%, выход концентрата 87,8%, извлечение горючей массы в концентрат 92,7%. Расход традиционных реагентов составлял 1 кг/т угля (табл. 1). При использовании комплексных реагентов зольность концентратов изменилась незначительно и во всех случаях удовлетворяла требованиям, предъявляемым к концентратам коксующихся углей. Подача реагента LVOFF позволила увеличить выход концентрата на 1,2%, извлечение горючей массы в концентрат на 1,3% и зольность отходов на 4,4%. При флотации с использованием реагента ГФО выход концентрата увеличился на 1,7%, извлечение горючей массы в концентрат и зольность отходов – на 1,7 и 5,5% соответственно. Наилучшие показатели получены при флотации угля марки «Ж» реагентом РНХ-3010. Выход концентрата и извлечение горючей массы в концентрат относительно базового технологического режима увеличились на 3,2% и составили соответственно 91,0 и 95,9%. Зольность хвостов флотации – 62,2%.

В настоящее время некоторые исследователи [1-5] указывают на возможность использования гетерополярных соединений, обладающих одновременно высокими собирательными и пенообразующими свой-

ствами, в качестве комплексных реагентов. Причем для получения высоких показателей флотации гетерополярный реагент должен иметь полярный атом или функциональную группу, обеспечивающие высокую адсорбционную способность молекул на энергетически неоднородных центрах угольной поверхности за счет специфических сил межмолекулярного взаимодействия (по механизму водородных, координационных или донорно-акцепторных связей), а также углеводородный радикал достаточной длины, способный повысить гидрофобность поверхности.

Таким образом, комплексные реагенты при флотации угля марки «Ж» обладают высокой активностью, причем по сравнению с базовым реагентным режимом их расход ниже в 2,5 раза. Использование комплексных реагентов позволяет повысить выход концентрата без потери его качества, а также снизить потери горючей массы с отходами. Высокая селективность объясняется групповым химическим составом и структурными особенностями поверхности угля. Угли марки «Ж», относящиеся к углям низкой степени метаморфизма, имеют большое количество гетерополярных функциональных и углеводородных групп, находящихся на их поверхности. Поэтому и гетерополярные органические соединения, входящие в состав комплексных реагентов, будут активнее адсорбироваться на поверхности таких углей, обеспечивая большую эффективность при флотации. Результаты флотации подтверждают большую эффективность и селективность этих реагентов. Следовательно, для флотации угля марки «Ж» рационально использовать реагенты, состоящие преимущественно из полярных органических соединений.

При флотации угольных шламов марок «КС» и «ОС», отличающихся повышенной зольностью (более 20%), для получения концентратов с зольностью, удовлетворяющей требованиям потребителей, расход всех исследованных реагентов повысился. Так, при флотации шлама марки «КС» зольностью 21,5% суммарный расход термогазойли и КОБС составил 1,4 кг/т. Зольность полученного концентрата составила 9,0%, при его выходе – 74,8% и извлечении горючей массы в концентрат – 86,6%. Зольность отходов флотации – 44,2%. Применение комплексных реагентов при флотации угольного шлама марки «КС» также приводит к повышению качественных показателей флотации при снижении расхода примерно на 80% (см. табл. 1).

ционально использовать реагенты, содержащие гетероатомные органические соединения (РНХ-3010 или ГФО). При флотации углей, относящихся к более поздним стадиям метаморфизма, выгодно использовать композиционные реагенты, которые кроме гетерополярных соединений в групповом химическом составе содержат неполярные углеводороды. Это объясняется изменением как молекулярной структуры угля, так и его пористости. С повышением геологического возраста углей снижается содержание функциональных групп на поверхности угля и увеличивается его пористость. Наличие в реагентах аполярных соединений, имеющих большее сродство к ароматической массе средне- и высокометаморфизированных углей, а также способ-

Таблица 1

Результаты флотации угольных шламах марок «Ж», «КС», «ОС» различными реагентами

Реагент		Расход			Выход концентрата, %	Зольность концентрата, %	Зольность отходов, %	Извлечение горючей массы в концентрат, %	Исходный продукт, зольность
Соби- ратель	Пено- образо- ватель	Соби- рателя	Пено- образо- вателя	Общий					
Термо-газойль, г. Омск	КОБС	0,9	0,1	1,0	87,8	9,0	48,5	92,7	Марка Ж, 13,8%
РНХ-3010		0,4		0,4	91,0	9,0	62,2	96,1	
LVOFF		0,4		0,4	89,0	9,0	52,9	94,0	
ГФО		0,4		0,4	89,5	9,1	54,0	94,4	
Термо-газойль, г. Омск	КОБС	1,3	0,1	1,4	74,8	9,0	58,4	86,6	Марка КС, 21,5%
РНХ-3010		0,8		0,8	76,3	9,0	61,5	88,4	
LVOFF		0,8		0,8	78,0	8,7	66,8	90,7	
ГФО		0,8		0,8	76,5	9,3	61,2	88,4	
Термо-газойль, г. Омск	КОБС	1,8	0,1	1,9	67,0	9,1	44,2	76,8	Марка ОС, 20,7%
РНХ-3010		1,2		1,2	68,5	9,4	45,2	78,2	
LVOFF		1,2		1,2	70,5	9,5	47,5	80,5	
ГФО		1,2		1,2	70,3	9,7	46,6	80,0	

Аналогичные результаты получены при обогащении угольного шлама марки «ОС» зольностью 20,7%. При снижении расхода комплексных реагентов почти на 60% относительно базового реагентного режима наблюдается улучшение качественно-количественных показателей процесса флотации. Наиболее высокие показатели получены при использовании реагента LVOFF. Выход концентрата увеличился на 3,5% при небольшом росте зольности на 0,4%. Извлечение горючей массы в концентрат и зольность отходов возросли соответственно на 3,7 и 3,3%.

Стоит отметить то, что активность комплексных реагентов при флотации угольных шламов различной степени метаморфизма различная. Для флотации угля марки «Ж», имеющего на своей поверхности большое количество гетерофункциональных группировок, ра-

ных в капельном, а не в молекулярном виде закрепляться на поверхности ОМУ, повышает эффективность комплексных реагентов.

Из исследованных реагентов необходимо рекомендовать реагент LVOFF. Однако высокая стоимость (около 70000 руб./т) и проблемы с транспортировкой (отход получается только на заводах Германии) является существенным недостатком, не позволяющим применять его на обогащательных фабриках России.

Поэтому в данной работе проведены исследования в направлении повышения эффективности флотореагента РНХ-3010.

Для повышения эффективности композиционного реагента РНХ-3010 в работе исследованы:

- влияние добавок аполярных нефтепродуктов;
- установление параметров оптимального тех-

нологического режима флотации углей.

В качестве добавок, содержащих аполярные соединения, в работе предлагается использовать следующие продукты и отходы химических производств:

1. Тяжелый полимер-дистиллят (ТПД) – представляет собой жидкость коричневого цвета плотностью 800-810 кг/м³. ТПД получают в процессе полимеризации бутиленов. В групповом химическом составе содержит непредельные углеводороды с изостроением радикала.

2. Легкий полимер-дистиллят (ЛПД) – отход производства полиизобутилена. Используется в качестве котельного топлива. В групповом химическом составе преобладают алкены.

3. Мотоалкилат – относится к классу изопарафинов. Его получают в процессе сернокислотного алкилирования.

4. Кубовый остаток производства изопропилбензола (КОИПБ).

Все перечисленные продукты могут применяться в качестве реагентов-собирающих, получают в достаточных количествах и имеют относительно невысокую стоимость. Однако к недостаткам предлагаемых продуктов можно отнести высокий расход при использовании их в качестве самостоятельных реагентов-собирающих. Для установления оптимального количества добавок были проведены исследования по флотации с применением композиционного реагента РНХ-3010 и ТПД в следующих соотношениях в процентах: 100:0, 90:10, 80:20, 67:33, 50:50 (табл. 2).

цепи. Выход концентрата составил 77,2% при его зольности 9,5%. Извлечение горючей массы в концентрат выше, чем при флотации с использованием РНХ-3010 без добавок на 11,5%. Зольность отходов – 58,8%, что на 14,1% выше, чем при использовании композиционного реагента без добавок (см. табл. 3).

При добавке мотоалкилата и ЛПД одновременно с выходом концентрата повышается его зольность до значений, неудовлетворяющих требованиям к концентратам, поступающим на коксование. При использовании в качестве добавки ТПД получен концентрат с удовлетворительной зольностью, однако выход концентрата ниже, чем при использовании КОИПБ на 1,5%.

Таблица 2

Влияние количества добавки ТПД к реагенту РНХ-3010 на показатели флотации шлама марки ОС

Реагент		Соотношение, %		Расход, кг/т	Выход концентрата, %	Зольность концентрата, %	Зольность отходов, %	Извлечение горючей массы в концентрат, %	Исходный продукт, зольность
Основной	Добавка	Основной реагент	Добавка						
РНХ-3010	ТПД	100	0	1,0	66,7	8,7	44,7	76,7	Марка ОС, 20,7%
		90	10		73,8	9,2	53,0	84,5	
		80	20		74,8	9,4	54,4	85,5	
		67	33		75,7	9,4	55,9	86,5	
		50	50		75,8	9,8	54,8	86,2	

Из результатов видно, что добавка ТПД к РНХ-3010 приводит к повышению показателей флотации. Наилучшие результаты получены при флотации смеси реагентов в соотношении 67:33%. При этом зольность концентрата не превышает требуемых значений (9,5%), выход концентрата повысился относительно чистого РНХ-3010 на 9,0% и составил 75,7%. При дальнейшем повышении содержания ТПД до 50% зольность концентрата превышает требования, предъявляемые к качеству концентратов, а выход концентрата не возрастает. При соотношениях 90:10% и 80:20% был получен концентрат удовлетворительного качества, однако потери горючей массы с отходами значительно выше, чем при флотации смесью реагентов 67:33%. (зольность отходов на 1,5-3,0% ниже).

При оптимальном соотношении компонентов были проведены исследования по флотации углей с использованием различных нефтепродуктов (табл. 3).

Наибольшая эффективность и селективность флотации наблюдалась при добавке к РНХ-3010 кубовых остатков производства изопропилбензола (КОИПБ), содержащих ароматические соединения с углеводородным радикалом изомерного строения в боковой

В качестве реагента использовалась смесь композиционного реагента РНХ-3010 с добавкой КОИПБ в соотношении 3:1 при расходе 1,0 кг/т. Исследованиями установлено, что наиболее высокие показатели по выходу флотоконцентрата получены в случае флотации исходного угля с плотностью 120 г/л (табл. 4).

Таблица 3

Результаты флотации шлама марки «ОС» с использованием различных нефтепродуктов в соотношении 67:33%

Реагент		Расход, кг/т	Выход концентрата, %	Зольность концентрата, %	Зольность отходов, %	Извлечение горючей массы в концентрат, %	Извлечение минеральных компонентов в отходы, %	Коэффициент селективности η_c
Основной	Добавка							
РНХ-3010	-	1,0	66,7	8,7	44,7	76,7	71,9	0,743
	КОИПБ		77,2	9,5	58,8	88,2	64,8	0,756
	Мотоалкилат		77,1	10,1	56,6	87,5	62,6	0,740
	ТПД		75,7	9,4	55,9	86,5	65,6	0,753
	ЛПД		77,5	10,3	56,6	87,7	61,5	0,735

При плотности исходного питания 120 г/л был получен концентрат удовлетворительной зольности (9,5%). Выход концентрата составил 78,1%. При снижении плотности исходного питания до 80 г/л наблюдалось уменьшение выхода концентрата на 2,5%, при

этом селективность процесса несколько выше, чем при флотации более плотных пульп. Снижение количественных показателей флотации разбавленных пульп связано с уменьшением числа угольных частиц в пульпе, из-за чего уменьшается вероятность столкновения их с эмульгированными каплями реагента. При этом снижается скорость процесса флотации, определяющая выход концентрата. Повышение плотности исходного питания до 160 и 200 г/л привело к незначительному повышению выхода концентрата на 0,8 и 1,2% соответственно. При этом снизилась селективность процесса флотации – зольность концентрата превысила требуемые значения для концентратов, поступающих на коксование. Повышение плотности пульпы приводит к тому, что происходит подъем пузырьками воздуха в концентрат флоккул из угольных частиц с содержащимися между ними глинистыми частицами, загрязняя последний.

Установлено, что наилучшие показатели флотации получены при крупности исходного угля -0,2 мм. Выход концентрата составил 78,6%, что на 0,5 и 1% выше, чем при обогащении более крупного и мелкого угля соответственно. Зольность концентратов менялась незначительно и не превышала установленных значений для концентратов, поступающих на коксование.

Показатели флотации при различной плотности исходного питания

Реагент	Плотность исходного питания, г/л	Расход, кг/т	Выход концентрата, %	Зольность концентрата, %	Зольность отходов, %	Исходный продукт, зольность
РНХ-3010+КОИПБ (67:33)	80	1,0	75,6	9,1	56,6	Марка ОС, 20,7%
	120		78,1	9,5	60,6	
	160		78,9	10,3	59,6	
	200		79,3	10,6	59,4	

Полученные показатели флотации углей различной крупности можно объяснить следующим.

В случае флотации тонкоизмельченного угля (-0,1 мм) повышается поверхность угольных зерен (рис. 1), что приводит к недостатку реагента для покрытия необходимой площади зерен угля для их активной флотации и снижению выхода концентрата.

Что касается флотации крупных частиц, то наличие турбулентных потоков во флотационной машине приводит к возникновению значительных отрывающих усилий, и прочность закрепления крупных зерен на пузырьке воздуха недостаточна. Это приводит к отрыву зерен от пузырьков, к повторному их закреплению и, соответственно, к снижению показателей флотации.

Таким образом, при флотации угля целесообразно проводить флотацию угольной мелочи крупностью -0,2 мм, а более крупные классы отправлять на гравитационное обогащение.

Скорость процесса флотации является важным показателем, определяющим эффективность реагента. В данной работе скорость флотации изучалась при оптимальных технологических показателях: плотность исходного питания – 120 г/л, крупность – 0-0,2 мм. В качестве исходного угольного шлама использовалась мелочь марки «ОС» зольностью 20,7% (табл. 5).

Таблица 5

Показатели флотации при различной крупности исходного угля марки «ОС»

Реагент	Крупность исходного питания, мм	Расход, кг/т	Выход концентрата, %	Зольность концентрата, %	Зольность отходов, %	Исходный продукт, зольность
РНХ-3010 + КОИПБ (67:33)	0-0,5	1,0	78,1	9,5	60,6	Марка ОС, 20,7%
	0-0,2		78,6	9,3	62,6	
	0-0,1		77,6	9,1	60,9	

Из результатов исследований видно, что при использовании традиционных реагентов скорость флотации несколько ниже предлагаемых реагентов (рис. 2). При этом расход предлагаемых реагентов значительно ниже (табл. 6).

Таким образом, применение в качестве реагента смеси РНХ-3010 и КОИПБ в соотношении 3:1 позволит не только сократить общий расход реагента по отношению к традиционному реагентному режиму, но и снизить количество флотационных камер за счет увеличения скорости процесса. Зольность концентратов при использовании разработанных реагентных режимов удовлетворяет требованиям потребителей (см. табл. 6).

Также стоит отметить увеличение зольности отходов, что позволяет повысить эффективность процесса за счет снижения потерь органической массы угля с отходами.

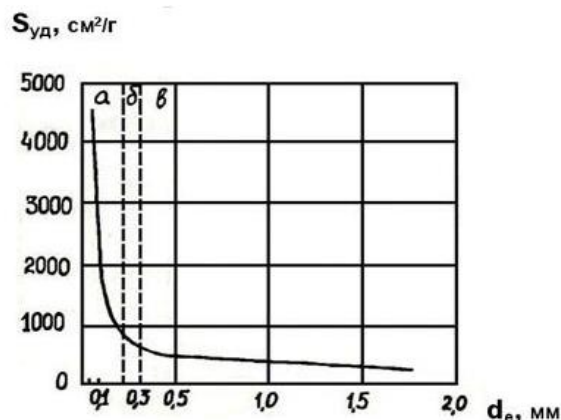


Рис. 1. Кривая зависимости удельной площади поверхности угольных зерен от их диаметра: зона «а» – зона наиболее сложной обогатимости

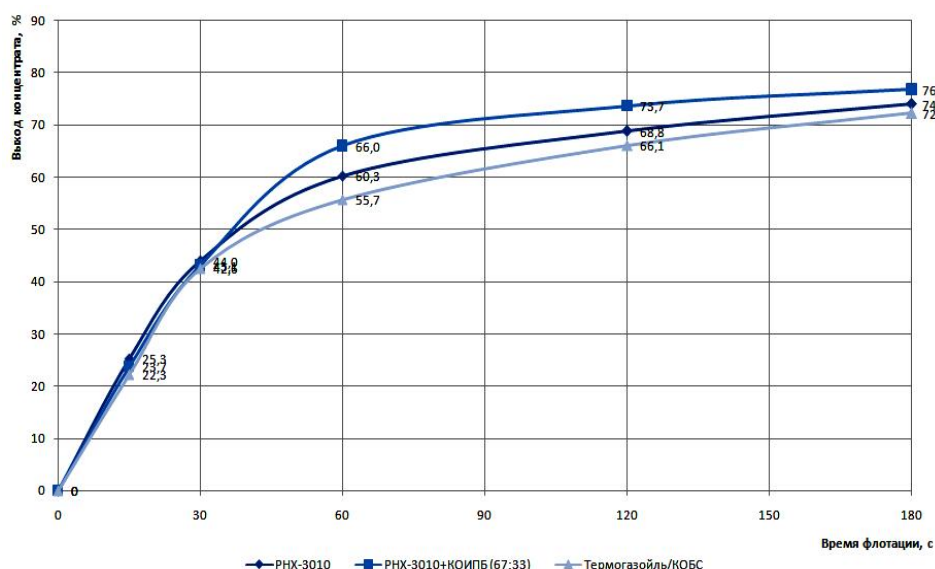


Рис. 2. Кинетика флотации с использованием различных реагентов

Таблица 6

Результаты флотации при различных реагентных режимах

Реагент	Расход, кг/т	Выход концентрата, %	Зольность концентрата, %	Зольность отходов, %	Исходный продукт, зольность
РНХ-3010	1,3	74,0	9,1	53,6	Марка ОС, 20,7%
РНХ-3010+КОИПБ(67:33)	1,0	76,8	9,3	58,4	
Термогазойль/КОБС (0,1 кг/т)	1,9	72,3	9,0	51,2	

позволяют использовать LVOFF в качестве комплексного реагента. Из исследованных реагентов на УОФ целесообразно использовать реагент РНХ-3010. Для повышения эффективности последнего проведены исследования влияния на показатели флотации добавки аполярных продуктов. Лучшие результаты получены при добавке к РНХ-3010 КОИПБ в соотношении 3:1. Для повышения показателей флотации угля при использовании разработанного композиционного реагента процесс флотации необходимо проводить при крупности угольного шлама -0,2 мм и плотности исходного питания 120 г/л. Использование смеси РНХ-3010 и КОИПБ в соотношении 3:1 позволит снизить расход реагента почти в 2 раза по сравнению с реагентными режимами, используемыми на УОФ, при этом выход концентрата увеличивается на 4,5%. Это позволит обогатительным фабрикам значительно снизить затраты на реагенты для флотации, а также повысить производительность флотационных отделений УОФ.

Список литературы

1. Власова Н.С., Классен В.И., Плаксин И.Н. Исследование действия реагентов при флотации каменных углей. М.: АН СССР, 1962. 170 с.
2. Дебердеев И.Х., Пикат-Ордынский Г.А., Рудановская Л.А. Новый флотационный реагент КЭТГОЛ // Кокс и химия. 1986. № 11. С. 13-15.
3. А.с. 564008. СССР. Собирающий для флотации гидрофобных минералов / М.М. Мовсумзаде, В.Н. Петухов, В.Н. Луговская и др. (СССР).
4. А.с. 921631. СССР. Реагент-собирающий для флотации гидрофобных минералов / В.Н. Петухов, Л.Г. Савинчук и др. (СССР).
5. О флотировании углей различной стадии метаморфизма / В.Н. Петухов, Л.А. Попова, В.Н. Шохин и др. // Изв. вузов. Горный журнал. 1977. №8. С. 130-133.

Выводы

Комплексные реагенты, содержащие в своем составе гетерополярные соединения, обладают большей флотационной активностью относительно традиционных реагентов при гораздо меньшем расходе. Наибольшей эффективностью обладает реагент LVOFF, однако его цена и сложности с поставками не

Сведения об авторах

Кубак Денис Анатольевич – аспирант кафедры химической технологии неметаллических материалов и физической химии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: deniskubak@yandex.ru.

Петухов Василий Николаевич – д-р техн. наук, проф. кафедры химической технологии неметаллических материалов и физической химии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: chief.petuhov2013@yandex.ru.

Семенов Дмитрий Георгиевич – директор ЗАО ИПК «Роснефтехим», г. Уфа, Башкортостан.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE INVESTIGATION OF THE EFFECT OF COMPLEX REAGENTS SECTIONAL CHEMICAL COMPOSITION ON COAL FLOTATION EFFICIENCY

Kubak Denis Anatolievich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: deniskubak@yandex.ru.

Petukhov Vasily Nikolaevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: chief.petuhov2013@yandex.ru.

Semenov Dmitry Georgievich – Director of Rosneftechim, Ufa, Bashkortostan.

Abstract. Flotation activity of complex reagents was investigated on the coals of different stage of metamorphism. It is rationally to use reagents containing polar organic compounds in the sectional chemical composition for coals related to the low degree of metamorphism. Coals, having the higher degree of metamorphism, differing by reduced content of functional bunching and greater porosity on the surface, are better floated by complex reagents with a number of non-polar organic compounds. Reagent RNH-3010 predominantly consists of polar oxygen-containing organic compounds. To improve the collective properties of the complex reagent RNH-3010 petrochemical industry waste, containing different non-polar organic compounds, were investigated. Among the examined waste additive DRIPB is recommended, allowing to increase the technical and economic indicators of the process. Optimum ratio of polar and non-polar components is defined. High and low content of non-polar part leads to the indicators deterioration of froth flotation. Technological process indicators of froth flotation, allowing to receive a concentrate, that

meets the requirements of coke-chemical production. Granulometric composition and pulp density have a significant impact on the performance of froth flotation. Advantages of the proposed reagent conditions are low cost, significant resources and high efficiency in comparison with its analogues.

Keywords: the foam flotation, reagent, technological parameters, petrochemical industry waste.

References

1. Vlasova N.S., Klassen V.I., Plaksin I.N. *Investigation of the flotation reagents when the coals*. Moscow, 1962. 170 p.
2. Deberdeev I.Kh., Pikkat-Ordinsky G.A., Rudanovskaya L.A. New flotation reagent KETGOL. *Coke and Chemistry*, 1986, no. 11, pp. 13-15.
3. Movsumzade M.M., Petukhov V.N., Lugovskaya V.N. and other. *Collector for flotation of hydrophobic minerals*. A.s. no. 564008.
4. Petukhov V.N., Savichuk L.G. and other. *Reagent-collector for flotation of hydrophobic minerals*. A.s. no. 921631.
5. Petukhov V.N., Popov L.A., Shokhin V.N. and other. The floatability of coals of different stage of metamorphism. *Izvestia of higher schools. Mining magazine*, 1977, no. 8, pp. 130-133.

УДК 622.772

Чижевский В.Б., Шавакулева О.П.

ОБОГАЩЕНИЕ ТИТАНОМАГНЕТИТОВЫХ РУД С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ КОНДИЦИОННОГО ИЛЬМЕНИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА

Аннотация. Представлены материалы по Копанскому месторождению и изложены теоретические основы решения проблемы обеспечения ильменитовым концентратом. Предложена принципиальная схема переработки титаномагнетитовой руды Копанского месторождения и разработанная магнитно-гравитационная технология обогащения титаномагнетитовой руды с получением кондиционных железованадиевого и ильменитового концентратов.

Ключевые слова: титаномагнетитовая руда, обогащение, флотация, магнитная сепарация, гравитация, технология переработки, ильменитовый концентрат.

Титан относится к широко используемым в промышленном производстве элементам. Важнейшими видами титановой продукции являются пигментный диоксид титана и металлический титан. Металлический титан и его сплавы, обладающие высокой коррозионной стойкостью и хорошим сочетанием механических и технологических свойств, применяются в самых различных отраслях промышленности: авиационной, космической, химической, металлургической, в машиностроении, судостроении [1].

Титаномагнетитовая руда Копанского месторождения является комплексной, содержащей такие полезные элементы, как железо, ванадий и титан. Основные рудные минералы – магнетит, титаномагнетит, ильменит, гематит, рутил; второстепенные – пирит, халькопирит, пирротин. К основным нерудным минералам относят плагиоклаз, роговую обманку, пироксен, хлорит, биотит, эпидот, цоизит, соссюрит, апатит.

Результаты химического анализа (табл. 1) показали, что в руде кроме полезных содержатся и вредные элементы – фосфор и сера.

Таблица 1

Результаты химического анализа

Продукт	Массовая доля, %								
	Fe	TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P	V ₂ O ₅	S
Руда	23,3	10,4	32,0	13,7	6,6	4,4	0,03	0,46	0,43

Исследование структурно-текстурных особенностей титаномагнетитовой руды показало, что руда тонковкрапленная, зерна магнетита пронизаны точечными и пластинчатыми включениями ильменита. В большинстве случаев магнетит пронизан нерудными вкраплениями, размеры которых колеблются от долей микрона до 0,1 мм.

Использование титаномагнетитовой руды Копанского месторождения в металлургическом переделе представляет трудноразрешимую проблему в связи с тугоплавкостью, обусловленной наличием диоксида титана. Это указывает на необходимость обогащения титаномагнетитовой руды Копанского месторождения с получением железованадиевого и ильменитового материала.

В предыдущих работах [2-7] предложены схемы переработки титаномагнетитовых руд с получением железованадиевого концентрата. Представленная технология позволяет получить железованадиевый концентрат с массовой долей железа 60,0-62,0% и диоксида титана 5,8-4,1%, который может быть использован в шихте для доменного процесса, и ильменитовый промпродукт.

Схема переработки титаномагнетитовой руды Копанского месторождения должна включать в себя железованадиевый цикл обогащения с последующей доводкой черного концентрата и ильменитовый цикл (рис. 1).

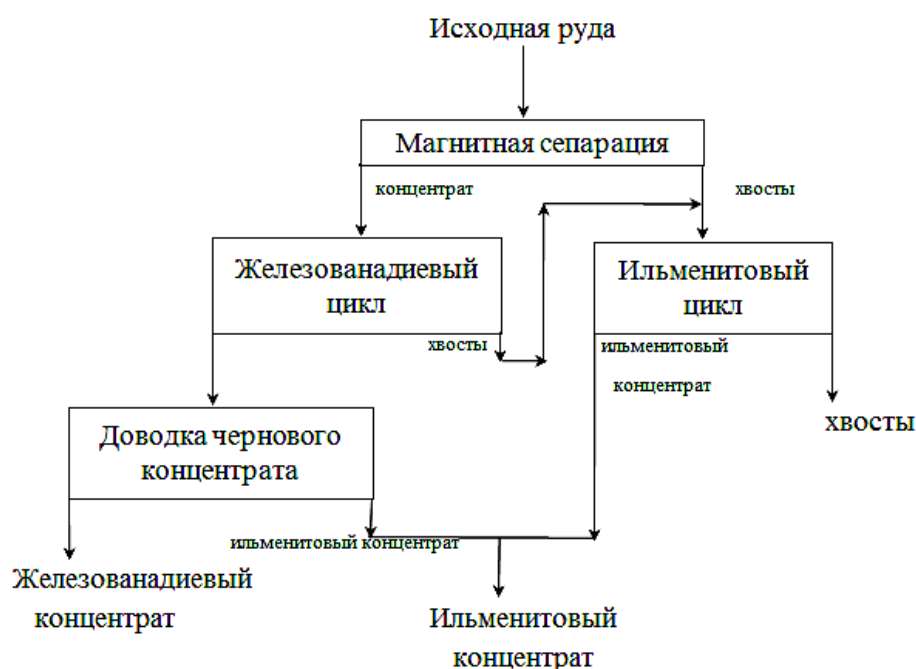


Рис. 1. Принципиальная схема обогащения титаномагнетитовой руды Копанского месторождения

Выбор метода обогащения в ильменитовом цикле предопределяется отличительными свойствами рудных минералов. После магнитной сепарации руды Копанского месторождения образуется немагнитная фракция крупностью менее 0,1 мм, в которой сконцентрированы рудные минералы, такие как ильменит и рутил. Данные минералы являются слабомагнитными минералами, удельная магнитная восприимчивость их составляет $(15 \div 960) \cdot 10^{-8}$ и $(0,7 \div 4,8) \cdot 10^{-8}$ м³/кг с плотностью 4500-5000 кг/м³, что предопределяет возможность выделения ценного компонента с помощью магнитной сепарации и гравитационных аппаратов. Также одним из возможных методов обогащения ильменитового промпродукта является флотация.

Как показал литературный обзор, для обогащения титаномагнетитовой руды Копанского месторождения возможно использование магнитно-гравитационной технологии, разработанной институтами «Механобр» и «Уралмеханобр». Технология включает в себя измельчение и мокрую магнитную сепарацию с целью получения железованадиевого концентрата, гравитационные процессы и полиградиентную сепарацию с получением ильменитового концентрата. Результаты обогащения титаномагнетитовой руды Копанского месторождения по данной технологии приведены в табл. 2.

Приведенные данные показывают, что технология имеет ряд недостатков, основными из которых являются: низкое извлечение железа в железованадиевый концентрат и высокая массовая доля диоксида титана в нем, а также низкое извлечение диоксида титана в ильменитовый концентрат.

На основе проведенных исследований сухой и мокрой магнитной сепарации, измельчения, гравита-

ционных процессов и флотации титаномагнетитовой руды выполнены технологические исследования по разработке эффективной технологической схемы обогащения титаномагнетитовой руды Копанского месторождения.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о возможности получения ильменитового концентрата с помощью флотационного и магнитно-гравитационного методов.

Предлагается в качестве реагентного режима флотации ильменитового промпродукта: олеат натрия 1200 г/т, фтористый натрий 500 г/т, серная кислота 800 г/т, ВКП 600 г/т. Результаты обогащения титаномагнетитовой руды Копанского месторождения по магнитно-флотационной схеме приведены в табл. 3.

Таблица 2

Показатели обогащения по магнитно-гравитационной технологии

Продукт	Выход, %	Массовая доля, %		Извлечение, %	
		Fe	TiO ₂	Fe	TiO ₂
Ильменитовый концентрат	15,4	24,4	44,3	16,8	57,3
Ильменитовый концентрат крупностью -0,5мм	7,0	26,2	47,8	8,2	28,1
Ильменитовый концентрат крупностью -0,2 мм	8,4	22,9	41,4	8,6	29,2
Железованадиевый концентрат	19,2	61,0	10,9	52,3	17,6
Хвосты	65,4	10,6	4,6	30,9	25,1
Исходная руда	100,0	22,4	11,9	100,0	100,0

Таблица 3

Показатели обогащения по магнитно-флотационной технологии

Продукт	Выход, %	Массовая доля, %		Извлечение, %	
		Fe	TiO ₂	Fe	TiO ₂
Ильменитовый концентрат	16,0	13,8	45,2	9,7	60,7
Железованадиевый концентрат	23,0	63,4	4,5	65,1	8,7
Хвосты	61,0	9,2	6,0	25,0	30,6
Исходная руда	100,0	22,4	11,9	100,0	100,0

В результате обогащения по магнитно-флотационной схеме получен ильменитовый концентрат с массовой долей диоксида титана 45,2% при извлечении 60,7%. Значительное повышение массовой доли железа и снижение диоксида титана в железованадиевом концентрате объясняется раскрытием сростков при доизмельчении железованадиевого промпродукта до крупности 0,04-0 мм.

В качестве магнитно-гравитационной технологии предложена схема, включающая в себя гравитационное разделение в концентратор Knelson, концентрацию на столах, полиградиентную сепарацию и мокрую магнитную сепарацию. В результате обогащения ильменитового промпродукта были получены продукты, характеристика которых представлена в табл. 4.

Сравнивая полученные результаты по трем технологиям переработки титаномагнетитовой руды Копанского месторождения, видно, что наиболее эффективной технологией является усовершенствованная магнитно-гравитационная (рис. 2). В результате ее применения можно получить кондиционный ильменитовый концентрат, удовлетворяющий ТУ 1715-001-58914756-2005.

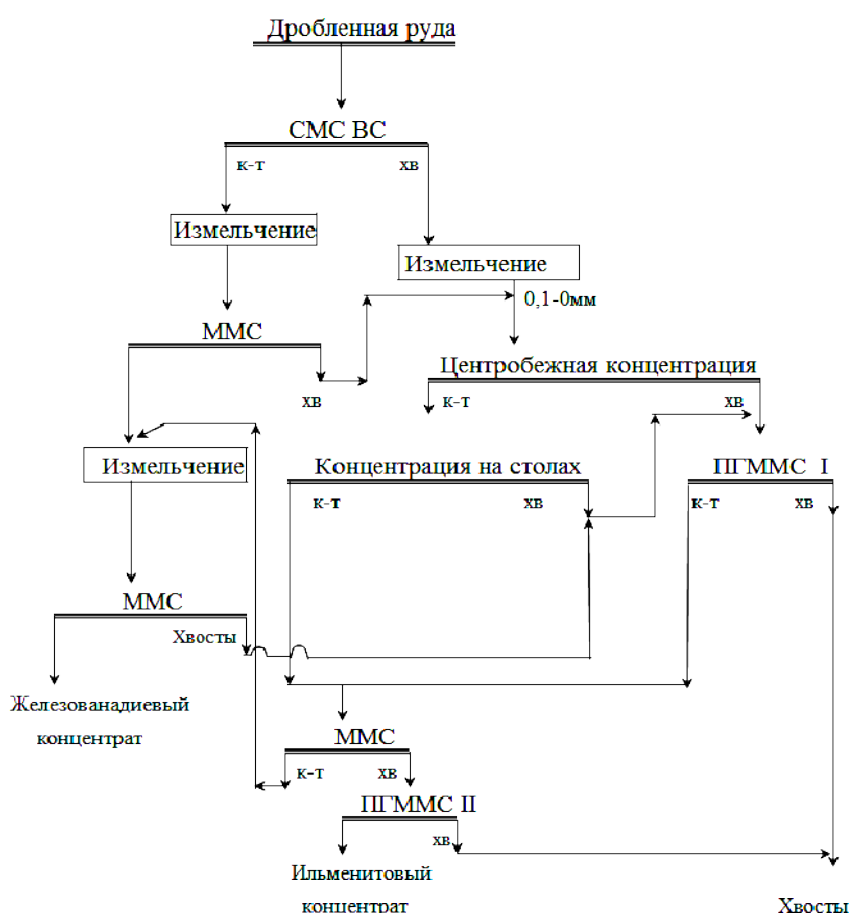


Рис. 2. Магнитно-гравитационная технология обогащения титаномагнетитовой руды Копанского месторождения

Список литературы

1. Резниченко В.А., Шабалин Л.И. Титаномагнетиты, месторождения, металлургия, химическая технология. М.: Наука, 1986.
2. Пат. 035212 РФ, МПК⁷ В03С 1/00. Способ обогащения титаномагнетитовых руд / Чижевский В.Б., Рашников В.Ф., Тахавудинов Р.С. и др. (РФ).
3. Чижевский В.Б., Шавакулева О.П. Обогащаемость различных типов титаномагнетитовых руд // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: материалы междунар. науч.-техн. конференции. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2011. С. 529-531.
4. Чижевский В.Б., Шавакулева О.П., Гмызина Н.В. Обогащение титаномагнетитовых руд Южного Урала // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. №2(38). С. 5-7.
5. Шавакулева О.П. Обогащение титаномагнетитовых руд // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: материалы ХУП междунар. науч.-техн. конференции. Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть», 2012. С. 39-41.
6. Состояние и перспективы развития сырьевой базы ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» / Гладских В.И., Гром С.В., Емелин К.А., Чижевский В.Б., Шавакулева О.П. // Горный журнал. Черные металлы. Спец. выпуск. 2012. С. 12-14.
7. Чижевский В.Б., Шавакулева О.П. Технология обогащения титаномагнетитовых руд Чернореченского месторождения // Современные методы технологической минералогии в процессах комплексной и глубокой переработки минерального сырья: материалы междунар. совещания «Плаксинские чтения-2012». Петрозаводск, 2012. С. 291-292.

Таблица 4

Показатели обогащения по магнитно-гравитационной технологии

Продукт	Выход, %	Массовая доля, %		Извлечение, %	
		Fe	TiO ₂	Fe	TiO ₂
Ильменитовый концентрат	16,2	19,2	50,6	16,9	69,0
Железованадиевый концентрат	23,2	63,2	4,2	65,5	8,2
Хвосты	60,6	6,5	4,5	17,6	22,8
Исходная руда	100,0	22,4	11,9	100,0	100,0

Комплексная переработка титаномагнетитовой руды позволит широко их использовать и обеспечить железорудным сырьем предприятия Южного Урала.

Сведения об авторах

Чижевский Владимир Брониславович – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой обогащения полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: (3519) 298555. E-mail: magtu_opi@mail.ru.

Шавакалева Ольга Петровна – канд. техн. наук, доц. кафедры обогащения полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: (3519) 298555. E-mail: magtu_opi@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

TITANIFEROUS MAGNETITE ORES ENRICHMENT IN ORDER TO RECEIVE CONDITIONING ILMENITE CONCENTRATES

Chyzhevsky Vladimir Bronislavovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519)298555. E-mail: magtu_opi@mail.ru.

Shavakyleva Olga Petrovna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519)298555. E-mail: magtu_opi@mail.ru.

Abstract. The materials concerning Kopanskoe ilmenite concentrate deposit and theoretical fundamentals of problem solution of ilmenite concentrate providing have been introduced. The basic diagram for titaniferous magnetite ore processing and the developed magnetic gravitational method for titaniferous magnetite ore enrichment with conditioning iron vanadium and ilmenite concentrates receiving have been suggested.

Keywords: titaniferous magnetite ore, ore dressing, flotation, magnet-ic separation, gravitation, technology of processing, ilmenite concentrate.

References

1. Reznichenko V.A., Shabalin L.I. *Titanomagnetite, field, metallurgy, chemical technology*. Moscow: Science, 1986.
2. Chyzhevsky V.B., Rashnikov V.F., Taxautdinov R.S. *Method of ore dressing of titanomagnetite ores*. Patent RF, no 035212.
3. Chyzhevsky V.B., Shavakyleva O.P. Ore dressing of tin different types of titanomagnetite ores. *Nauchnyye osnovy i praktika pererabotki rud i tehnogennogo syrya: materialy mezhdunar. nauch.-tehn. konferentsii*. [Scientific fundamentals and practice of processing of ores and technogenic raw materials: Materials of International scientific-technical conference]. Ekaterinburg: Publishing House «Fort Dialog-Iset», 2011, pp. 529-531.
4. Chyzhevsky V.B., Shavakyleva O.P., Gmyzina N.V. The enrichment of

titaniferous magnetite ore in the South Urals. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2012, no. 2(38), pp. 5-7.

5. Shavakyleva O.P. The enrichment of titaniferous magnetite ore. *Nauchnyye osnovy i praktika pererabotki rud i tehnogennogo syrya: materialy XII mezhdunar. nauch.-tehn. konferentsii*. [Scientific fundamentals and practice of processing of ores and technogenic raw materials: Materials of XII International scientific-technical conference]. Ekaterinburg: Publishing House «Fort Dialog-Iset», 2012, pp. 39-41.
6. Gladskih V.I., Grom S.V., Emelin K.A., Chyzhevsky V.B., Shavakyleva O.P. State and development prospects of the raw material base of Magnitogorsk iron and steel works. *Gornyy zhurnal. Khimyye metally. Spets. vyipusk*. [Gorn journal. Ferrous metals. Special release]. 2012, pp. 12-14.
7. Chyzhevsky V.B., Shavakyleva O.P. Technology of enrichment of titaniferous magnetite ores Chernorechensky field. *Sovremennyye metody tehnologicheskoy mineralogii v protsessah kompleksnoy i glubokoy pererabotki mineralnogo syrya: materialy mezhdunar. soveshaniya «Plakinskie chteniya-2012»*. [Modern methods of technological Mineralogy in the processes of complex and deep processing of mineral raw materials: Materials of the International meeting «Plaksin readings-2012»]. Petrozavodsk, 2012, pp. 291-292.

УДК 622.013.624.131.43

Зотеев О.В., Калмыков В.Н., Гоготин А.А., Зубков А.А., Зубков А.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАКЛАДОЧНОГО МАССИВА В ВЫРАБОТАННОМ ПРОСТРАНСТВЕ КАРЬЕРА «УЧАЛИНСКИЙ»

Аннотация. Исчерпание емкости существующего хвостохранилища Учалинского ГОКа обусловило начало работ по изысканию новых мест складирования отходов обогащения. Необходимость предстоящей рекультивации Учалинского карьера подтолкнула к изучению возможности использования для этой цели чаши карьера, имеющего большой объем выработанного пространства. Однако в связи с отсутствием доступа на его нижние горизонты будет затруднен забор воды из прудковой зоны, которая сформируется при сбросе текущих хвостов обогащения в чашу карьера, поэтому было принято решение перед складированием пульпы производить ее сгущение до пастообразного состояния.

Для разработки технологии складирования пастовой пульпы была произведена оценка физико-механических свойств сгущенных хвостов обогащения и определены характеристики закладочного массива. Также было установлено, что сгущенная пульпа отдает только часть свободной воды и даже при значительном уплотнении она не теряет своих реологических свойств и подвержена процессу текучести.

Ключевые слова: месторождение, паста, карьер, сгущение, угол растекания, водоотдача, водоприток, флокулянт, коагуляция, физико-механические свойства.

В настоящее время отвальные хвосты обогащения Учалинского горно-обогатительного комбината складываются в намывное хвостохранилище, которое входит в состав единой промышленной площадки предприятия. Однако его емкости будут выработаны в ближайшие годы, в связи с чем остро встал вопрос о

дальнейшем месте размещения отходов обогатительного передела. Исходя из того, что комбинат расположен в черте города Учалы, а территория вокруг него застроена, размещение нового намывного хвостохранилища возможно только на расстоянии 10-15 км, а это приведет к дополнительным затратам на гидро-

транспорт пульпы и оборотной воды. По этой причине было принято решение использовать в качестве емкости для складирования отходов обогащения отработанный карьер Учалинского месторождения, находящийся в непосредственной близости от фабрики. Также с точки зрения воздействия на окружающую среду использование выработанного пространства карьеров для размещения отходов положительно сказывается на экологической обстановке [1]. Один из основных факторов, осложняющих данное решение, это необходимость совмещения во времени процессов складирования пульпы в чаше карьера и доработки месторождения подземным способом. Исследованиями установлено, что для снижения нагрузки на подземный водоотлив Учалинского рудника и получения оборотной воды для обогатительного передела отвалы хвосты необходимо сгущать с использованием флокулянта до пастообразной консистенции с максимальным содержанием твердого в получаемом продукте [2]. 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 [3]. Однако в России нет опыта размещения сгущенных отходов обогащения в карьерном пространстве, подработанном подземными выработками, в связи с чем для разработки технологии формирования искусственного массива были изучены физико-механические характеристики складываемой пульпы и закономерности их изменения в процессе намыва.

Минералогический состав хвостов Учалинского ГОКа характерен для Уральских медноколчеданных месторождений: пирит – 58,93%; халькопирит – 0,78%; сфалерит – 0,96% и нерудные минералы – 39,33%. Химический состав хвостов по данным обогатительной фабрики УГОКа характеризуется следующими данными: Cu – 0,13%; Zn – 0,54%; S – 30,18%; Au – 1,35 г/т; Ag – 18,48 г/т. В целом можно сказать, что основная масса хвостов не склонна к набуханию. Вода в хвостах может удерживаться только в поровом пространстве, а также в виде коллоидных пленок на глинистых частицах с размерами не более 5 мкм [2].

Изучение гранулометрического состава хвостов и их компрессионные испытания проводились лабораторией грунтоведения и дорожного строительства ГУП Институт «БашНИИстрой» по заданию ООО «Диор».

Результаты изучения гранулометрического состава приведены на рис. 1. Хорошая сходимость полученных кривых позволяет объединить их в одну генеральную совокупность и аппроксимировать степенной зависимостью вида

$$d_i = 0,0006 \cdot p_i^{1,0648}, \quad (1)$$

где d_i – диаметр частиц, мм; p_i – соответствующая этому диаметру накопленная частота на кумулятивной кривой грансостава.

Используя соотношение (1), легко подсчитать контролирующие диаметры и коэффициент неоднородности грунта η : $D_{10} = 7$ мкм, $D_{17} = 12,3$ мкм, $D_{50} = 38,6$ мкм, $D_{60} = 46,9$ мкм, $D_{85} = 68$ мкм и коэффициент неод-

нородности $\eta = D_{60}/D_{10} = 6,7$. По гранулометрической классификации хвосты Учалинского ГОКа относятся к суглинистым или супесчаным грунтам.

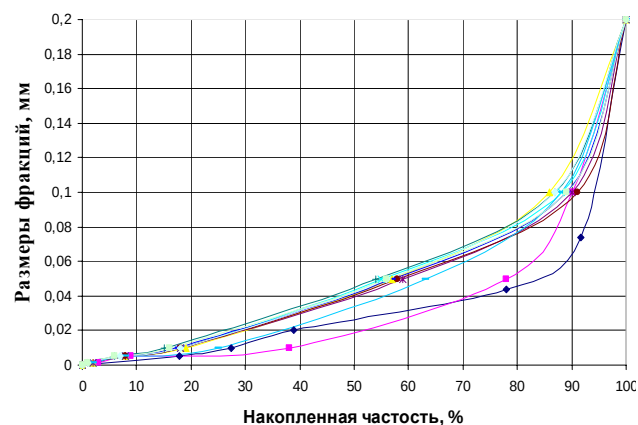


Рис. 1. Кривые гранулометрического состава по пробам

Оценка физико-механических свойств отвалных хвостов обогащения производилась по известным методикам [5]. Показатели физико-механических свойств сведены в таблицу, а на рис. 2-5 приведены результаты компрессионных испытаний грунтов. Анализ приведенных данных позволяет установить зависимость осевых деформаций ε от нормального давления σ (см. рис. 2), а также связь нормальных напряжений и модуля деформации хвостов E (см. рис. 3):

$$\begin{aligned} \varepsilon &= 0,0845\sigma^{0,8938}; \\ E &= 4,9621 \cdot e^{2,3845\sigma}. \end{aligned} \quad (2)$$

Испытания пористости n показали что, одна из проб резко отличается по опытным данным от двух других (см. рис. 4). Если использовать только две близкие пробы, то зависимость пористости от нормального давления можно аппроксимировать степенной зависимостью

$$n = 0,2489 \cdot \sigma^{-0,0316}. \quad (3)$$

При приложении нагрузки изменение пористости (см. рис. 5) характеризуется близкими значениями для всех проб, что позволяет использовать эти результаты для оценки уплотняемости хвостов:

$$\Delta n = -0,009 \ln(\sigma) - 0,0322. \quad (4)$$

Результаты испытаний физико-механических свойств

Номера проб	1	2	3
Плотность хвостов в естественном состоянии, г/см ³	2,44	2,42	2,11
Плотность скелета хвостов, г/см ³	2,43	2,41	2,10
Плотность скелета при оптимальной влажности и максимальной плотности, г/см ³	2,72	2,74	2,42
Плотность минеральной части, г/см ³	3,80	3,80	3,80
Пористость, %	28,42	27,89	36,32

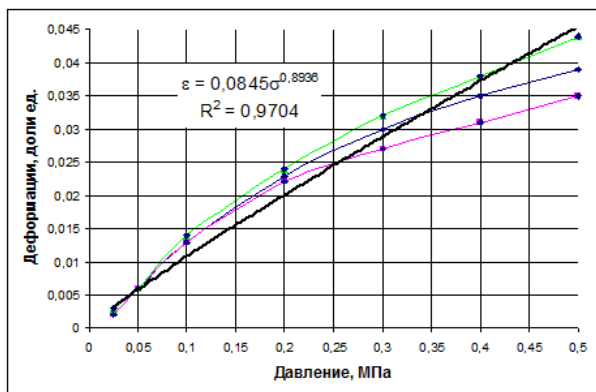


Рис. 2. Зависимость относительной деформации от нормального давления

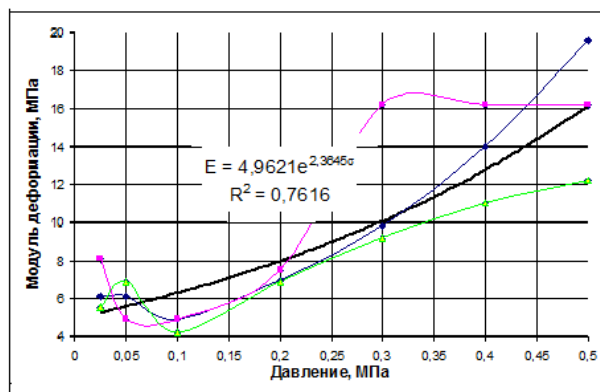


Рис. 3. Зависимость модуля деформации от нормального давления

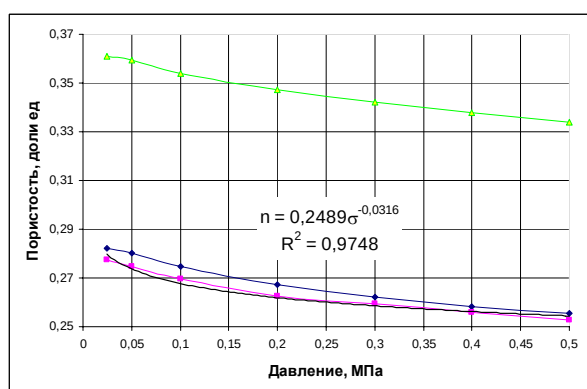


Рис. 4. Зависимость пористости от нормального давления

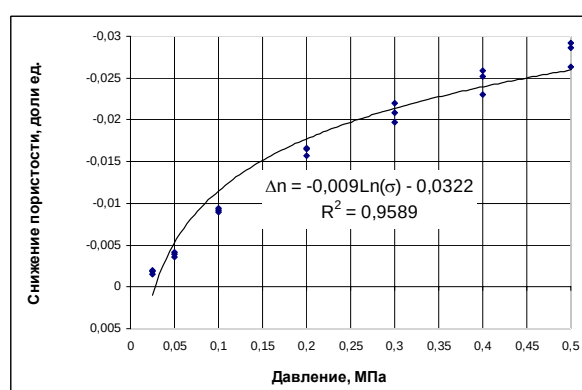


Рис. 5. График снижения пористости от начального значения при увеличении нормального давления

Добавление флокулянта в сгущаемую пульпу приводит к существенному изменению ее свойств. Так, одной из основных особенностей стало резкое увеличение угла растекания пульпы с 2-3 до 12-20 град в зависимости от плотности смеси.

Другая важная особенность заключается в низкой по сравнению с обычной пульпой водоотдаче: свободный сток воды составляет 13,8% от ее объема в пасте. В дальнейшем паста слабо уплотняется, причем освободившаяся вода отжимается вверх.

Сгущаемая с использованием флокулянта пульпа обладает повышенной способностью к коагуляции поровых каналов. Если обычная пульпа без флокулянта практически полностью отдавала воду в перколяторе через фильтр, состоящий из песчаных фракций от 1 до 3 мм, то пастовая пульпа коагулировала слой заполнителя. Глубина коагуляции составила 30 мм при высоте столба пульпы 1000 мм. Увеличение крупности частиц фильтра (от 1 до 5 мм) привело к увеличению глубины коагуляции до 200 мм при практически полном отсутствии водоотдачи. При этом свободная вода отжималась над твердой частью пасты, мутность достигала 47 г/л.

Установлено, что пастовая пульпа обладает высокой подвижностью, т.е. ее перемещение по выработкам подобно переувлажненным глинам. В ходе опы-

тов паста подавалась в вертикальный став трубы, откуда двигалась по горизонтальному ставу. При этом не происходило ни интенсивной водоотдачи, ни консолидации пульпы, т.е. при возобновлении через двое суток подачи пульпы начиналось движение всей массы в горизонтальной трубе полным сечением. Соотношение длин горизонтального и вертикального ставов равно 1:8, что свидетельствует о высокой подвижности суспензии.

Компрессионные испытания пастообразной пульпы, необходимые для оценки ее уплотняемости и водоотдачи под давлением, были проведены по трем пробам (рис. 6, 7). Полученные уравнения связи деформаций и пористости пульпы под нагрузкой с учетом принципа несжимаемости грунтовой массы позволяют оценить ход заполнения карьера и формирующуюся нагрузку на водоотлив:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= 0,2234\sigma^{0,4306}; \\ n &= 0,4404\sigma^{-0,0443}, \end{aligned} \quad (5)$$

где σ – действующее вертикальное давление, МПа.

Анализ компрессионных испытаний, проведенных на образцах пульпы с использованием флокулянта, показал, что пористость материала и, как следствие, влажность значительно выше, чем у проб, взя-

тых с пляжа хвостохранилища. Также они обладают более высокой осевой деформацией при равнозначном давлении, что объясняется наличием капиллярной воды между частицами хвостов флюкеры, за счет чего происходит снижение водоотдачи. Следствием повышения пористости будет снижение плотности и уменьшение объема твердого, размещаемого в выработочном пространстве карьера.

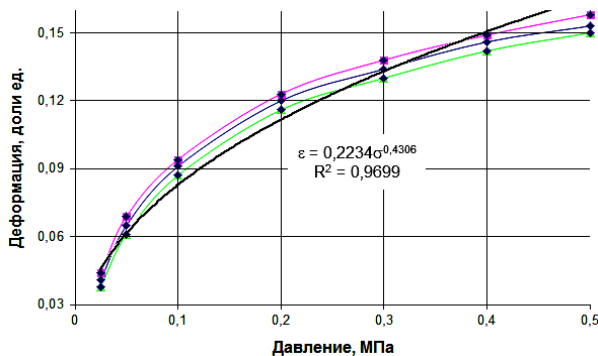


Рис. 6. Результаты компрессионных испытаний пастообразной пульпы

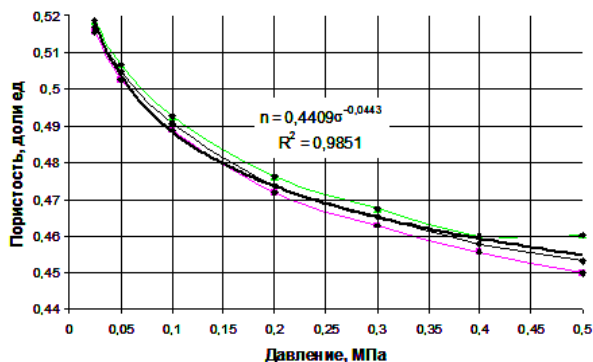


Рис. 7. График зависимости пористости пастообразной пульпы от давления

На основе полученных данных компрессионных испытаний сгущенного продукта была получена зависимость водопритока в подземный рудник от объемов размещаемой в карьере пульпы, имеющей угол растекания 12°. Поскольку часть заскладированной пульпы будет замерзать в зимний период и оттаивать в летний, объем отдаваемой воды будет меняться во времени. При расчетах глубина промерзания слоя принималась равной 2 м, а его последующее полное оттаивание – в течение месяца. С учетом этих условий были рассчитаны режимы водопритоков в рудник в двух вариантах: нормальный (без учета сезонного замерзания и оттаивания) и максимальный.

Максимальные водопритоки в подземный рудник прогнозируются в первый год подачи пульпы в выра-

ботанное пространство карьера, это связано с быстрым заполнением южной части и увеличением толщины намытого массива до 80 м. После чего дебет воды снижается в связи с достижением массива в нижней его части состояния, в котором он становится несжимаемым.

Для изучения основных путей фильтрации, а также оценки изменения геодинамической обстановки и свойств массива по мере заполнения карьера было проведено численное моделирование его напряженно-деформированного состояния. Дополнительные деформации, обусловленные развитием горных работ или заполнением карьерной выемки шламами, пересчитывались в дополнительные деформации трещин разгрузки. При этом считалось, что расстояние между трещинами разгрузки определяется высотой рабочего уступа карьера (12 м), а раскрытия трещин на этой базе составляют 80% от дополнительных деформаций массива [5].

Проведенные исследования по определению физико-механических свойств сгущенных хвостов обогащения позволили определить исходные данные для разработки технологии формирования массива и прогноза водопритоков в подземные выработки:

- угол растекания пульпы – 12-14 град;
- водоотдачу массива – 13,8%.

– пористость и влажность закладочного массива, характер их изменения по мере заполнения выработанного пространства карьера.

Также было установлено, что сгущенная пульпа при уплотнении отдает только часть свободной воды, оставшаяся же ее часть сосредотачивается в порах между частицами хвостов, в связи с чем даже при значительном уплотнении она не теряет своих реологических свойств и подвержена процессу текучести. Исходя из этого необходимо уделить повышенное внимание к изоляции выработок подземного рудника.

Список литературы

1. Определение ценности техногенных георесурсов / Гавришев С.Е., Пыталев И.А., Заляднов В.Ю., Павлова Е.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. №2 (30). С. 5-8
2. Закладка отработанного пространства Учалинского карьера твердыми смесями на основе отходов обогащения: Технологический регламент / ЗАО «Магтеоэксперт». Магнитогорск, 2011.
3. Емельяненко Е.А., Ангелова В.А., Емельяненко М.М. Разработка способа формирования техногенного образования из хвостов обогащения медно-колчеданных руд с заданными структурными характеристиками // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. №1. С. 13-16.
4. Зотеев В.Г., Зотеев О.В., Низамутдинова Е.О. Оценка физико-механических свойств несвязных грунтов, используемых при строительстве и реконструкции земляных плотин по их гранулометрическому составу // Водное хозяйство России. 2006. №3. С. 3-25.
5. Гидрогеологические и геомеханические условия формирования хвостохранилища в Главном карьере Высокогорского ГОКа / Зотеев В.Г., Зотеев О.В., Костерова Т.К., Тагильцев С.Н., Осламенко В.В. // Изв. вузов. Горный журнал. 1995. №5. С. 111-121.

Сведения об авторах

Зотеев Олег Вадимович – д-р техн. наук, проф., зав. лабораторией геодинамики и горного давления, генеральный директор ООО «Инновационно-экспертный центр ИГД УрО РАН», г. Екатеринбург, Россия. Тел.: 8(922)208-69-84. E-mail: zoteev.o@mail.ru.

Калмыков Вячеслав Николаевич – д-р техн. наук, проф. зав. кафедрой подземной разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8(3519)29-84-61, 29-84-66. E-mail: prmpi@magtu.ru.

Гоготин Алексей Анатольевич – канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры подземной разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8(3519)29-84-61, 29-84-66. E-mail: prmpi@magtu.ru.

Зубков Антон Анатольевич – канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры подземной разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8(3519)29-84-61, 29-84-66. E-mail: prmpi@magtu.ru.

Зубков Артем Анатольевич – аспирант кафедры подземной разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8(3519)29-84-61, 29-84-66. E-mail: prmpi@magtu.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE INVESTIGATION OF TAILINGS PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES FOR THE DEVELOPMENT OF THE METHOD OF FILLING SOLID MASS FORMING IN UCHALINSKY QUARRY WASTE AREA

Zoteev Oleg Vadimovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Institute of mining of the Ural office of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia. Phone: 8(922)208-69-84. E-mail: zoteev.o@mail.ru.

Kalmykov Vyacheslav Nikolaevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519)29-84-61, 29-84-66. E-mail: prmpi@magtu.ru.

Gogotin Alexey Anatolyevich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519)29-84-61, 29-84-66. E-mail: prmpi@magtu.ru.

Zubkov Anton Anatolyevich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519)29-84-61, 29-84-66. E-mail: prmpi@magtu.ru.

Zubkov Artem Anatolyevich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519)29-84-61, 29-84-66. E-mail: prmpi@magtu.ru

Abstract. The beginning of new tailings storage sites pioneering has been caused by the exhaustion of the existing tailing dump capacity at Uchalinsky Mining and Processing Plant. As a result of the necessity for the forthcoming Uchalinsky quarry restoration the possibility of using quarry bowls with a large amount of waste area was studied. However, the draught from the dam pond zone, which will be formed in the current tailings discharging into the quarry bowl, will be hampered due to the lack of access to its early levels. Therefore, it was decided to thicken the pulp to pasty-like conditioning before storing.

To develop pasty pulp storage technique the physical and mechanical properties of thickened tailings have been estimated and filling solid mass characteristics were identified. It has been found that thickened pulp yields only a part of gravity wafer and it does not lose their flow properties and is subject to the yielding even in substantial thickening.

Keywords: deposit, paste, quarry, condensation, spreading corner, water yield, water production, flocculant, mudding, physical and mechanical properties.

References

1. Gavishev S.E., Pytalev I.A., Zalyadnov V.U., Pavlova E.V. Opredelenie cenosti tehnogennih georesursov. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2010, no. 2(30). pp. 5-8.
2. Zakladka otrabotannogo prostanstva Uchalinskogo kar'a tverdeyushimi smes'ami na osnove othodov obogasheniya: Tekhnologicheskii reglament [Bookmark the waste of space Uchalinskoe career hardening mixtures based on tailings: Production schedules] Magnitogorsk, 2011.
3. Emelianenko E.A., Angelov V.A., Emelianenko M.M. Razrabotka sposoba formirovaniya tehnogennoy obrazovaniya iz hvostov obogasheniya medno-kolchedannih rud s zadnimy strukturmimi kharakteristicami. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2012, no. 1, pp. 13-16.
4. Zoteev V.G., Zoteev O.V., Nizamutdinova E.O. Otsenka fiziko-mekhnicheskikh svoystv nesvyaznykh gruntov, ispolzuemih pri stroitelstve i rekonsryksii zemlenih plotin granylometricheskomy sostavy. *Vodnoe hozjajstvo Rossii*. [Water economy of Russia]. 2006, no. 3, pp. 3-25.
5. Zoteev V.G., Zoteev O.V., Kosterova T.K., Tagiltsev S.N., Oslamenko V.V. Gidrogeologicheskie i geomekhnicheskie usloviya formirovaniya hvostochranileshaha v Glavnom karyere Visokogorskogo GOKa. *Mining Journal*, 1995, no. 5, pp. 111-121.

МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

УДК 669.187.2

Каскин К.К.

ЖИДКОФАЗНЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРЯМОГО ПОЛУЧЕНИЯ ЧУГУНА И СТАЛИ

Аннотация. Рассматриваются вопросы жидкофазного процесса получения чугуна и стали. Приведен зарубежный опыт производства стали. Разработан непрерывный процесс выплавки стали и чугуна в рудно-термических печах, позволяющих в составе шихты использовать 100% металлizedованного сырья. Процесс опробован на опытно-промышленной рудно-термической печи мощностью 1200 кВА на металлizedованных в условиях Белорецкого металлургического комбината окатышей Лебединского и Качканарского месторождений. Всего переработано около 600 т металлizedованных окатышей с содержанием пустой породы до 15% и степенью металлizationи 85-95%.

Ключевые слова: металлizedованные окатыши, прямое получение стали и чугуна.

В настоящее время металлургическая промышленность мира вышла на такой этап своего развития, когда актуальность приобретает вопросы дальнейшего технического и технологического перевооружения в развитии новых процессов производства стали. Это возникает в связи с необходимостью уменьшения энергетических затрат, затрат на рабочую силу и капитальное строительство, оптимизации гибкости производства и контроля над загрязнением окружающей среды.

В последнее время развитие получило разработки новых процессов прямого получения, которые развиваются как конкурирующие процессы по отношению к доменной печи. Это связано с капитальными затратами на коксовые печи, обогащение руды (производство окатышей и спекание, оборудование газоочистки и на саму доменную печь, по оценкам западных специалистов превышает один миллиард долларов) [1].

В связи с этим развитие получают процессы жидкофазного восстановления, которые подразделяются на одностадийные, осуществляемые в агрегате, и двухстадийные, при которых шихтовые материалы нагревают и восстанавливают в отдельных камерах одного агрегата, а довосстанавливают и плавят в другом. Ниже приводится ряд процессов жидкофазного восстановления, которые опробованы в мировой практике.

Так фирмами «Корф энджинеринг» (ФРГ) и «Фест – Альпине» (Австрия) разработан процесс «КР» по производству чугуна на базе некоксуемых углей. Процесс осуществляется в плавильном агрегате – газогенераторе, работающем в комбинации с шахтной печью для производства губчатого железа. В качестве шихтовых материалов используют кусковую железную руду, железорудные окатыши, агломерат и восстановитель – некоксуемый уголь. Испытания в промышленном режиме, проведенные на опытной установке «КР» производительностью по чугуну 60 тыс. т/год, показали возможность получить чугун следующего состава:

C – 4 – 4,4%; Si – 1,3%; S – 0,02 – 0,04% и температурой металла на выпуске 1500 – 1550°C [2].

Фирмой «Макуэйн каст айрон пайп» (США) разработан процесс «Макдоуэлл – Уэлман» [2]. Сущность процесса заключается в следующем: железорудные окатыши смешивают с угольной пылью, измельченным флюсом и окомковывают, затем полученные окатыши сушат и подогревают до температуры 1000°C на конвейерной машине Дуайта–Ллойта с гидравлическим затвором. Полученный металлizedованный продукт непрерывно подают в электропечь с погружной дугой. Производительность печи составляет 200-400 т/сут. На 1 т чугуна с процессом «Макдоуэлл – Уэлман» расходуется 1,4-1,9 т железной руды; 0,6-0,9 т угля; 0,2-0,6 т флюса; 750-1000 кВт ч электроэнергии; 1,8-4,5 кг электродов.

Процесс «Элред» (Швеция) разработан фирмами «Стура Коннарберг» и «АСЕА» [3-6]. Способ включает предварительное восстановление железорудной мелочи в реакторе с кипящим слоем и окончательным восстановлением в дуговой печи постоянного тока. Предварительное восстановление осуществляют при 950°C пылевидным углем, вдуваемым в реактор вместе с воздухом. Окончательное восстановление проводят в дуговой печи постоянного тока при 1450°C, предварительно восстановленный продукт со степенью металлizationи 60-70% разгружают через днище реактора, охлаждают до 700°C и непрерывно загружают вместе со шлакообразующими добавками через полый угольный электрод в дуговую печь. Для лучшего отделения шлака от металла применяют пенный шлак. Чугун содержит примерно 3,5%С; 0,5% Si; 0,5% Mn. В полупродукте высокое содержание S и P, вносимых сырыми материалами, поэтому требуется последующая дефосфорация и десульфурация.

Фирмой «Болиден» разработан процесс «Инред» (Швеция), который основан на высокотемпературном подогреве железорудной мелочи и угольной пыли предварительного восстановления до юстита в камере для плавки во взвешенном состоянии и окончательном восстановлении в дуговой печи [7-9]. Камера для плавки во взвешенном состоянии находится над дуговой печью. На первой стадии происходит переплав рудной мелочи и ее восстановления до FeO. Пе-

реплав происходит в плавильном циклоне при температуре 1900°C. Энергоносителем служит уголь, сжигаемый в струе кислорода. Вторая стадия процесса проходит в электропечи. Остатки угля, превратившиеся в кокс, реагируют с FeO с образованием губчатого железа, которое науглероживается и расплавляется. Получаемый жидкий чугун выпускают через равные промежутки времени со следующим химическим составом: C – 3-4%; Si – 0,5-1% и большое количество фосфора. Так как содержащийся в железной руде фосфор переходит в чугун, его подвергают дефосфорации и десульфурации.

Процесс Фостер–Уиллер разработан фирмами Фостер Уиллер и Тетроникс (Англия) [10]. Процесс основан на восстановлении мелкодисперсного железорудного концентрата углем в струе плазмы. Специфической особенностью процесса является образование устойчивого плазменного конуса, в который можно непосредственно вдувать материалы шихты. Узел плазматрона монтируется на огнеупорной футеровке свода печи с отклонением оси плазматрона от вертикали на 5-15°C, водоохлаждаемая часть плазматрона проходит в рабочее пространство печи. Управление плазматрона и частота его вращения определяются требованиями технологии. При вращении плазматрона дуга образует конус. Установлено, что при определенной частоте вращения конус приобретает высокую стабильность, что позволяет вдувать порошкообразный материал шихты непосредственно в конус. Вдуваемые частицы материала захватываются плазменным конусом, подвергаются непосредственному воздействию электрических сил плазмы и быстро нагреваются. Этим процессом можно за один этап получать малоуглеродистую сталь с низким содержанием серы.

Непрерывный способ восстановления железа из расплава разработан в Японии [11], который включает нагрев, предварительное восстановление из расплава и передел жидкого чугуна, позволяющий получать сталь из железной руды. Наибольшая эффективность восстановления из твердой шихты достигается при степени восстановления 60-80%, в предлагаемом комбинированном процессе во второй степени при расплавлении производится довосстановление предварительно на 40-80% восстановленной шихты. Горячее, не полностью металлургическое сырье (900-1000°C) непрерывно передается из первой стадии в электропечь для переплава и окончательного восстановления. В качестве восстановителя используется коксовая мелочь. Высокотемпературные газы (1300-1400°C) с содержанием 90% CO, отходящее из электропечи, направляются в агрегат для предварительного восстановления железной руды. Чугун (полупродукт с малым содержанием Si; Mn; P) направляется в агрегат непрерывного рафинирования.

ВНИИметмашем и ЦНИИчерметом разработан циклонно-конвертерный процесс для производства стали из железорудных концентратов [12, 13]. Процесс восстановления разделен на две стадии. Первая – плавление и восстановление на 20-25% осуществляется в плавильном циклоне, вторая – окончательное восстановление в проточном конвертере. Применение

плавильного циклона – высокофорсированного аппарата позволяет использовать железорудные концентраты любого состава без их окомкования и осуществлять процесс плавления пылевидной шихты в вихревом режиме с удельными нагрузками 3-4 т/м³ ч. Вторая стадия процесса – окончательное восстановление расплава осуществляется в проточной реакционной ванне конвертерного типа, продуваемой твердым восстановителем – углем, кислородом и флюсующими добавками через водоохлаждаемую погруженную форму. Режим продувки обеспечивает необходимый температурный уровень процесса (1400-1500°C) и оптимальный окислительный потенциал в ванне, предупреждающий восстановление вредных примесей. Получающийся углеродистый полупродукт из отстойной ванны, прилегающей к реакционной, непрерывно передается на рафинировку.

С 1980 года фирма «Круп» ведет разработки комбинированного процесса прямого восстановления и плавления [14]. Способ «Круп–КОИН» заключается в следующем: в ванну жидкого чугуна вдувают мелкий уголь в потоке кислорода через донные сопла, а энергия, высвобождающаяся при частичном сжигании мелкого угля, используется для расплавления лома или губчатого железа и для газификации угля. Образующийся газ может быть использован для прямого восстановления железной руды. В ванну через сопла с двойными оболочками вдувается уголь, где в центральной же части сопла проходит кислород, а по коаксиальной кольцевой щели вдувается мелкий уголь с инертным газом.

Челябинским научно-исследовательским институтом металлургии [15] разработан непрерывный процесс выплавки стали и чугуна в печах типа рудно-термических, позволяющих в составе шихты использовать 100% металлургического сырья. Процесс опробован на опытно-промышленной рудно-термической печи мощностью 1200 кВА на металлургических комбинатах окатышей Лебединского и Качканарского месторождений. Всего переработано около 600 т металлургических окатышей с содержанием пустой породы до 15% и степенью металлизации 85-95% [16].

Установлена возможность получения металла с содержанием углерода от 0,01 до 4%, азота не более 0,003%, серы не более 0,003%. Полученный металл характеризуется низким содержанием примесей цветных металлов: меди – менее 0,004%, никеля – 0,02% и т.п. При выплавке высокоуглеродистого металла (содержание углерода 2-4%) процесс можно вести таким образом, чтобы обеспечить восстановление до 3% кремния из пустой породы.

В качестве плавильного агрегата использовалась стандартная рудно-термическая печь. Характерной особенностью разработанного процесса является работа печи в режиме сопряжения с закрытым колошником, т.е. на поверхности ванны постоянно находится твердая шихта, уровень которой поддерживается на одной высоте за счет присадки шихты из печных бункеров.

Процесс полностью непрерывный, шихта загружается через трубопроводы по мере проплавления. Выпуск металла и шлака осуществляется периодически, а время выпуска определяется по расходу электроэнергии. Печь на время выпуска не отключается. Процесс отличается высокой производительностью печи 1-1,6 т/ч на 1 мВт мощности, достаточно низким расходом электроэнергии 650-700 кВт·ч/т для печи 1,2 мВА. Разработанный процесс может быть использован для производства низколегированных углеродистых сталей с широким диапазоном по содержанию углерода. Особенно для производства стали с требуемым содержанием примесей цветных металлов и неметаллических включений. Это может быть канатная, кордовая и инструментальная сталь с интервалами изменения по кремнию – 0,17-0,37% и по марганцу – 0,3-0,6%, а также производство высококачественного чугуна с низким содержанием серы и фосфора.

Таким образом, описанные способы прямого получения обладают непрерывностью технологического процесса и меньшими загрязнениями по сравнению с процессом доменная печь – конвертер, низкими удельными капиталовложениями, особенно при небольших производственных агрегатах.

Для условий Казахстана более предпочтительным является металлизация железорудных окатышей ССГОК и переработка их в рудно-термических печах; АЗФ с получением высококачественного чугуна или же обезуглероживание его в дальнейшем в конвертере АОД. Металлизированные железорудные окатыши ССГОК может заменить низкокачественный скрап, в котором уровень загрязняющих примесей ежегодно растет.

Основными предпосылками в Казахстане являются наличие запасов природного газа (для металлизации) и наличие больших запасов железной руды. Именно это позволит организовать в Казахстане про-

изводство качественных сталей, а именно металлизацию железорудных окатышей в шахтных печах типа ОЭМК с дальнейшим переплавом их в рудно-термических печах с получением высококачественного чугуна, канатной; кордовой; инструментальных сталей, что является перспективным направлением в производстве металлов.

Список литературы

1. Moore J.J. An examination of the new direct smelting processes for iron and steelmaking // *Journal of Metals*. 1982. VI. P. 39-48.
2. Жак Р.И., Питателев В.А. Производство и применение металлизированных материалов в доменном и электросталеплавильном производствах: Обзор по системе «Информсталь» (Институт «Черметинформация»). М., 1986. Вып. 20 (264). С. 27.
3. В Швеции разработан экономичный способ производства чугуна // *Металлургия*. 1979. №9. 9.B252.
4. Строительство установки для производства чугуна по методу Элред // *Металлургия*. 1979. №8.B450.
5. Коллин П., Штиклер Г. Новый способ производства чугуна // *Черные металлы*. 1980. №5. С. 20-23.
6. Elred – Новый процесс производства чугуна // *Металлургия*. 1979. №8. 813451.
7. Davis C., Mefarlin G., Pratt H. Direct reduction technology and economic // *Ironmaking and Steelmaking*. 1982. №3. P. 93-109.
8. Накагава Р., Есимацу С. Непрерывное восстановление из расплава. Разработка непрерывно процесса производства черных металлов из металлизированного сырья // *Тэккокай*. 1975. Т.25. №9. С. 48-52.
9. Агрегат для получения жидкого металла из руд и концентратов: а.с. 232990 от 4.10.1968.
10. Способ внедомного получения жидкого чугуна / Иванцов Г.П., Смирнов В.Н., Василивицкий А.В. и др.; НИИИнформтяжмаш. Инф. №58. М., 1968.
11. Развитие безокисовой металлургии / Тулин Н.А., Кудрявцев В.С., Вернер Д., Лезель В., Мюллер Б. и др. М.: Металлургия, 1987.
12. Процесс Boliden Inred для восстановительной плавки тонкоизмельченных окислов железа и концентратов // *Металлургия*. 1980. №2. 2B163.
13. Эльфандер Г., Омберг Г. Производство чугуна по способу Инред – айрон // *Черные металлы*. 1984. №17. С. 42-45.
14. Elwander H.I., Edenwall I.A., Hellestam C.I. Boliden Inred process for smelting reduction of fine-grained iron oxides and concentrates // *Ironmaking and Steelmaking*. 1979. №5. P. 235-244.
15. Кадарметов А.Х., Каскин К.К., Учаев А.Н. Непрерывный процесс получения полупродуктов с использованием в шихте металлизированных окатышей // *Непрерывные металлургические процессы: руда, лом-металлопрокат: тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. Свердловск, 1989.*

Сведения об авторе

Каскин Куат Камарович – канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой «Металлургия» Актобинского государственного университета им. К. Жубанова, г.Актобе, Казахстан. E-mail: kuatkamarovich@rambler.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE LIQUID-PHASE PROCESSES OF IRON AND STEEL DIRECT PRODUCTION

Kaskin Kuat Kamarovich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Aktobe State University K. Zhubanova, Aktobe, Kazakhstan. E-mail: kuatkamarovich@rambler.ru.

Abstract. The problems of the liquid-phase process of iron and steel production are considered. The international experience of steel production is presented. A continuous process of steel and iron ore production in smelting furnaces allowing to use 100% metallized charging feed has been developed. The process was tested in experimental - industrial ore-smelting furnace with the capacity of 1200 kVA on the pellets from Lebedinsky and Kachkanarsky deposits, which were metallized under Beloretsk Metallurgical Plant. The total amount of processed metallized pellets containing up to 15% waste material and 85-95% metallization is about 600 tons.

Keywords: metallized pellets, direct production of steel and cast iron.

References

1. Moore J.J. An examination of the new direct smelting processes for iron and steelmaking. *Journal of Metals*. 1982, VI, pp. 39-48.
2. Zhak R. I., Pitatlev V.A. The production and use of metallic materials in the blast furnace and electric furnace steelmaking. Survey by «InformSteel» system (Institute of «Black metallurgy information»). Moscow,

- 1986, 20 (264), pp. 27.
3. In Sweden have developed an economical method of producing pig iron. *Metallurgy abstract journal*. 1979, 9B252.
4. Construction of plants for the production of pig iron. *Metallurgy abstract journal*. 1979, 8B450.
5. Collin P., Shtikler G. New mode of production of pig iron. *Ferrous metals*. 1980, no. 5, pp. 20-23.
6. Elred – New process of iron production. *Metallurgy abstract journal*. 1979, no. 8, 813451.
7. Davis C., Mefarlin G., Pratt H. Direct reduction technology and economic. *Ironmaking and steelmaking*. 1982, no. 3, pp. 93-109.
8. Nakagawa R., Isimatsu S. Continuous reduction from the melt. Development of a continuous process of steel production from metal materials. *Takokai*. 1975, vol. 25, no. 9, pp. 48-52.
9. Unit for the production of liquid metal from ores and concentrates. Copyright witnesses № 232990, 4.10.1968.
10. Ivantsov G.P., Smirnov V.N., Vasilivitsky A.V. and others. Method to produce liquid iron outside of the blast furnace. Research Institute «Heavy

- engineering», bulletin № 58. Moscow, 1968.
11. Tulin N.A., Kudryavtsev V.S., Verner D., Lessel V., Muller B. and others. Development of metallurgy without application of coke. Moscow: Metallurgy, 1987.
 12. «Boliden Inred» process for smelting reduction of finely divided iron oxides and concentrates. *Metallurgy abstract journal*. 1980, no. 2, 2B163.
 13. Elwanger G., Omberg G. Production of pig iron in the way of Inred Iron. *Ferrous Metals*. 1984, no. 17, pp. 42-45.
 14. Elwanger H.I., Edenwall I.A., Hellstam C.I. Boliden Inred process for smelting reduction of fine-grained iron oxides and concentrates. *Ironmaking and Steelmaking*. 1979, no. 5, pp. 235-244.
 15. Kadarmetov A.H., Kaskin K.K., Uchaev A.N. Continuous process for production of semiproducts with using metallized pellets in the charge. *Continuous metallurgical processes: ore, scrap, metal rolling: abstracts of All-Union Scientific and Technical Conference*. Sverdlovsk, 1989.

УДК 62-405.6:669.1

Бушуев А.Н., Гюнтер Д.А.

ЗАВИСИМОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ ПОРОЗНОСТИ МЕТАЛЛОШИХТЫ ПО ВЫСОТЕ ЗАГРУЗОЧНОЙ БАДЬИ В ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Аннотация. Выполнены серии модельных экспериментов с целью изучения зависимости изменения порозности засыпки металлошихты по высоте загрузочной бадьи (корзины) электросталеплавильного производства. Поставленные эксперименты охватывают четыре варианта засыпки кускового лома в корзину, свойственные основным режимам работы дуговой печи: без добавки и с добавкой жидкого чугуна в технологический процесс выплавки стали. На основании полученных данных установлены функциональные зависимости изменения порозности металлошихты по высоте загрузочной бадьи для каждого из рассматриваемых вариантов засыпки.

Ключевые слова: аппроксимация данных, электросталеплавильное производство, металлошихта, порозность, реальная засыпка, модельная засыпка.

В черной металлургии широко применяются дуговые сталеплавильные печи, в которых переплавляемый кусковой металлолом в большинстве случаев подвергается предварительному подогреву газами перед загрузкой в печь. Кусковой характер такой металлошихты определяет особенности гидродинамических и теплообменных процессов в слое [1,2]. Между кусками остаются пустоты, по которым проходят газы, обеспечивающие протекание необходимых тепловых и технологических процессов. Поэтому газопроницаемость шихты, а непосредственно и порозность ее засыпки в бадье и печи, определяемая объемом пустот в слое, является одной из важнейших характеристик слоя кусковых материалов. Порозность представляет собой отношение суммарного объема пустот в слое засыпки к общему объему засыпки [1]:

$$f = \frac{V_{\text{п}}}{V_0}, \quad (1)$$

где $V_{\text{п}}$ – суммарный объем пустот в общем объеме слоя V_0 .

Актуальность владения характером изменения порозности засыпки кускового лома в бадье определяется следующими моментами [2]:

1) представление порозности посредством функции может позволить более подробно оценить аэродинамическое сопротивление, оказываемое слоем разнородной засыпки при продувании его нагретым газом;

2) порозность в тепловой задаче определяет кажущуюся теплопроводность плотного слоя, коэффициенты теплопередачи и теплоотдачи;

3) рассмотрение порозности через функциональную зависимость от высоты бадьи может позволить учесть изменение температурного поля внутри ме-

таллошихты при тепловом расчете теплообмена.

Авторами были поставлены четыре независимые серии экспериментов, задача которых заключалась в получении экспериментальной зависимости изменения порозности слоя засыпки металлошихты в бадье цилиндрического сечения.

Для решения поставленной задачи авторами был произведен подбор экспериментального материала, представляющего собой мелкие обрезки металла различных форм (стальных труб и профилей малого размера, листовой стали, колец и шаров подшипников и т.п.), моделирующего реальную засыпку металлошихты с достаточно высокой точностью. Также была подобрана прозрачная цилиндрическая емкость, высота которой позволяла производить засыпку модельной шихты до отметки, находящейся с диаметром емкости в соотношении $h/d = 1,13$. В качестве экспериментальной среды в проводимых опытах использовалась вода с незначительным добавлением красителей, облегчающих наблюдение за уровнем жидкости.

Подбор экспериментального материала и емкости, имитирующих кусковой лом и загрузочную бадью, осуществлялся на основе технологических инструкций «Организация приемки и подготовки металлошихты для загрузки в дуговую печь» в ОАО «Уральская сталь» (г. Новотроицк). Согласно инструкциям максимальная масса отдельных кусков металлошихты не должна превышать 1 т, максимальный размер – не более 800×500×500 мм, а максимальный размер листовой обрезки – не более 1200 мм [3].

Максимально допустимые размеры отдельных кусков модельной засыпки рассчитывались через коэффициент подобия k , определяемый соотношением геометрических размеров модельной и реальной бадьи следующим образом:

$$k = \left(\frac{d}{D} \right)^2 \cdot \frac{h}{H},$$

где D, d – диаметры реальной бадьи и модельной емкости; H, h – высота слоя засыпки в бадье и в модельной емкости соответственно.

Объем засыпаемых кусков V_k^m при моделировании определялся как $V_k^m = V_k^p \cdot k$, где V_k^p – объем реального моделируемого куска лома.

При пересчете через данный коэффициент получаем, что сторона реального куска лома 800 мм соответствует размеру 22 мм в модели, сторона листовой обрезки 1200 мм соответствует 33 мм.

Согласно инструкциям по подготовке металлошихты к выплавке в ДСП при шихтовке плавков по варианту использования 100% твердой шихты без жидкого чугуна загрузка металлошихты осуществляется двумя загрузочными бадьями. Для ДСП-120 масса металлошихты составляет от 135 до 140 т, в т.ч. чушкового чугуна – от 28 до 32 т [3-5].

Загрузка первой завалочной бадьи (завалки):

- легковесный лом (2А, 3А, ШЭ) – от 20 до 30 т;
- известь (известняк) на «подушку» из легковесного лома 3А, ШЭ, масса в завалку должна составлять от 2,0 до 4,0 т;
- кокс или коксовая мелочь от 0,5 до 1,0 т (при необходимости загружается в саму печь через свод перед подвалкой);
- обрезать листопрокатных цехов (или тяжеловесный лом) от 10 до 15 т;
- чугун чушковый от 14 до 16 т;
- тяжеловесный лом (обрезать ОБЦ, СПЦ) от 8 до 12 т;
- легковесный лом (2А, 3А, ШЭ) от 20 до 25 т.

Первая серия экспериментов направлена на исследование зависимости изменения порозности металлошихты по высоте бадьи при данном варианте засыпки при замене обрезки листопрокатных цехов на тяжеловесный лом.

В целях достижения совпадения зеркала засыпки металла с верхней допустимой отметкой модельной емкости, при моделировании 63,5 г модельной засыпки соответствуют 1 т реального лома. Массовая доля кусков в модельной засыпке и их предельные геометрические размеры приведены в табл. 1 и 2 соответственно.

В целях удобства применения результатов математической обработки экспериментальных данных аппроксимация производится под безразмерную величину x , представляющую собой долю от полезной высоты реальной исследуемой бадьи. Аппроксимация может быть осуществлена посредством следующих функций [6-8]:

1) полиномиальной функцией четвертой степени вида

$$f(x) = 0,40927 + 5,7328 \cdot x - 23,9782 \cdot x^2 + 33,0787 \cdot x^3 - 14,4768 \cdot x^4;$$

2) экспоненциальной функцией вида

$$f(x) = 0,8 - 0,36 \cdot \exp \left(- \frac{(15x - 8,8)^2}{8,8} \right).$$

Таблица 1

Массовые доли кусков модельной засыпки в первой серии экспериментов

Наименование модельных кусков	Масса, г
<i>Куски, моделирующие легковесный лом</i>	
Дугообразный профиль, в том числе гнутая дуга и дуга прямоугольного профиля	1030,6
Кольцеобразный профиль правильной и гнутой формы	916,9
Прямоугольный профиль, в том числе и гнутый	419,6
Полусфера	33,5
Иной профиль, неподлежащий описанию	319,1
<i>Куски, моделирующие тяжеловесный лом</i>	
Цилиндрический и полуцилиндрический профиль	294,2
Дугообразный профиль	118,0
Иной профиль, неподлежащий описанию	1479,0
<i>Куски, моделирующие чушковый чугун</i>	
Шар	502,2
Цилиндр	360,8

Таблица 2

Габаритные размеры кусков модельной засыпки в первой серии экспериментов

Описание куска	Габаритные размеры, мм		Масса, г	
	мин	макс	мин	макс
<i>Куски, моделирующие легковесный лом</i>				
Дугообразный профиль	18×14×10	28×20×18	6,1	18,3
Кольцеобразный профиль	19×10	27×22×12	4,4	15,0
Произвольный профиль	17×17×8	25×23×11	6,5	16,3
<i>Куски, моделирующие тяжеловесный лом</i>				
Цилиндрический профиль	25×10	22×22×10	11,8	26,6
Дугообразный профиль	25×18×16		28,4	
Иной профиль	25×19×7	22×16×15	17,7	35,0
<i>Куски, моделирующие чушковый чугун</i>				
Шар	Ø11	Ø13	5,6	8,4
Цилиндр	8×10	10×10	3,7	6,1

Графики функций приведены на рис. 1.

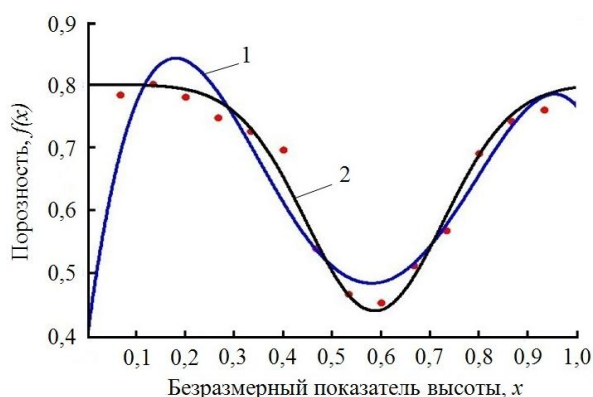


Рис. 1. Экспериментальные значения порозности засыпки (точки) и графики функций для первой серии экспериментов: 1 – график полинома четвертой степени; 2 – график экспоненциальной функции

Вторая серия экспериментов основана на модели того же варианта засыпки, но при наличии в составе шихты обрезки листопрокатных цехов комбината. При моделировании засыпки основной состав шихты, моделирующей легковесный лом, остается прежним. Из него подвергаются полной замене следующие куски:

- куски кольцевидной формы – 179,2 г;
- куски дугообразной формы и неправильного профиля – 155,2 г.

Аппроксимация полученных экспериментальных результатов может быть осуществлена посредством следующих функций [6-8]:

1) полиномиальной функции четвертой степени вида

$$f(x) = 0,1244 + 8,6194 \cdot x - 31,6019 \cdot x^2 + 40,484 \cdot x^3 - 16,8516 \cdot x^4;$$

2) рациональной функции вида

$$f(x) = -0,097 - 0,2536 \cdot \exp\left(\frac{(x-1,0169)^2}{0,2492}\right) + 0,9746 \cdot \exp\left(\frac{(x-0,7864)^2}{0,2199}\right).$$

Графики перечисленных функций представлены на рис. 2.

Третья серия экспериментов посвящена определению характера изменения порозности в слое засыпки металлошихты, используемой в технологическом процессе выплавки стали при применении 40% жидкого чугуна. При данном варианте шихтовки загрузка металлошихты осуществляется одной загрузочной бадьей. Общая масса твердой шихты от 80 до 90 т, в том числе легковесный лом массой от 40 до 65 т, обрезь листопрокатного цеха от 5 до 25 т, тяжеловесный лом (обрезь ОБЦ, СПЦ) от 5 до 25 т. Порядок загрузки металлошихты аналогичен предыдущему случаю.

Опытные данные были обработаны следующими функциями:

1) полиномиальной функцией четвертого порядка вида:

$$f(x) = 0,7629 + 1,4207 \cdot x - 8,153 \cdot x^2 + 12,31 \cdot x^3 - 5,5385 \cdot x^4;$$

2) дробно-рациональной функцией вида:

$$f(x) = \frac{0,9105 - 0,40868 \cdot x}{1 + 0,6517 \cdot x - 1,0575 \cdot x^2}.$$

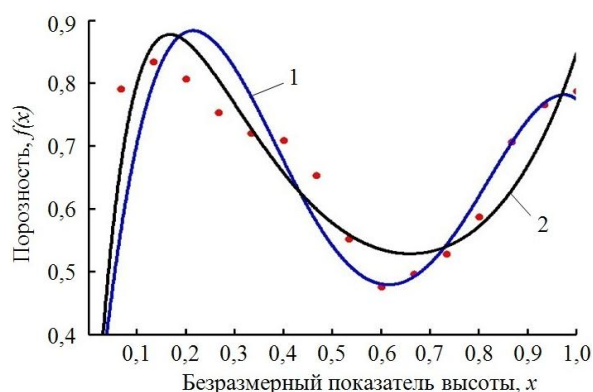


Рис. 2. Экспериментальные значения порозности засыпки (точки) и графики функций: 1 – график полинома четвертой степени; 2 – график экспоненциальной функции

Характер изменения порозности для третьего эксперимента близок к первым двум случаям. Графики функций приведены на рис. 3.

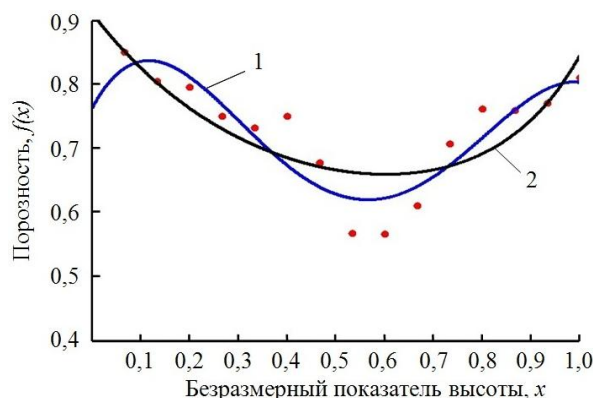


Рис. 3. Экспериментальные значения порозности засыпки (точки) и графики функций третьей серии экспериментов: 1 – график полинома четвертой степени; 2 – график рациональной функции

Четвертая серия экспериментов направлена на исследование изменения порозности засыпки металлического лома, загружаемого во вторую завалочную бадью (при подвалке) при условии выплавки стали из твердого лома.

Согласно инструкциям по подготовке металло-

шихты к выплавке в ДСП загрузка второй завалочной бадьи (подвалки) включает в себя [3]:

- легковесный металлолом (ЗА, ШЭ) от 35 до 45 т;
- чугуны чушковые от 13 до 16 т.

Данные экспериментов четвертой серии позволяют произвести аппроксимацию следующими функциями:

1) полиномиальная функция третьего порядка вида

$$f(x) = 0,922 - 0,93785 \cdot x + 2,2439 \cdot x^2 - 2,3323 \cdot x^3;$$

2) дробно-рациональная функция вида

$$f(x) = \frac{0,8914 - 1,0202 \cdot x}{1 - 0,7871 \cdot x - 0,2828 \cdot x^2}.$$

Графики данных функций приведены на рис. 4.

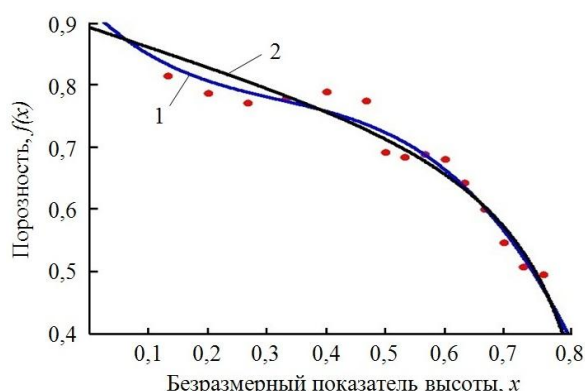


Рис. 4. Экспериментальные значения порозности засыпки (точки) и графики аппроксимирующих функций четвертой серии экспериментов: 1 – график полинома третьей степени; 2 – график рациональной функции

Средняя порозность реальной металлошихты электросталеплавильного производства, по данным большинства металлургических комбинатов, лежит в интервале значений $f_p = 0,8 - 0,9$. Для определения средней порозности всей бадьи воспользуемся следующим выражением:

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{1}{X_{\max}} \int_0^{X_{\max}} f(x) dx. \quad (2)$$

Средняя порозность, подсчитанная по формуле (2), для различных модельных зависимостей лежит в пределах от 0,6 до 0,7.

В качестве объяснения расхождения модели с реальными значениями следует отметить, что объем пустот реальной металлошихты представляет собой сумму объемов межкускового пространства и объемов внутренних пор (пустот) каждого куска лома в рассматриваемом слое засыпки (гнутые листы, пресованные брикеты, металлостружки и т.д.), поэтому с учетом определения (1):

$$f_p = \frac{V_n + V_{вп}}{V_o} = \frac{V_n}{V_o} + \frac{V_{вп}}{V_o}, \quad (3)$$

где f_p – реальная порозность; V_n – суммарный объем пустот между кусками лома в засыпке; $V_{вп}$ – суммарный объем внутренних пустот в кусках лома.

В модели внутренние пустоты в кусках металлошихты по техническим причинам не были смоделированы, поэтому в экспериментах порозность определялась как $f_m = V_n / V_o$. Тогда коэффициент порозности реальной засыпки, с учетом (3), может быть представлен в виде

$$f_p = f_m + \frac{V_{вп}}{V_o}. \quad (4)$$

Примечателен тот факт, что второе слагаемое в выражении (4) позволяет оценить объем внутренних пустот. К тому же внутренний объем пустот куска может содержать как сквозные, так и глухие «поры» по отношению прохождения через него нагретого газа, что важно при рассмотрении тепловой задачи нагрева шихты. Чтобы учесть вклад в общую порозность второго слагаемого, введем в рассмотрение поправочный коэффициент a , который позволит связать функциональные зависимости порозности реальной и модельной засыпок:

$$f_p(x) = a \cdot f_m(x). \quad (5)$$

Поправочный коэффициент может быть определен, если к обеим частям выражения (5) применить формулу интегрального усреднения (2).

Приняв среднее значение порозности реальной засыпки, равным 0,82, получаем значения поправочных коэффициентов, приведенные в табл. 3.

Таблица 3

Поправочные коэффициенты аппроксимирующих функций

Номер серии экспериментов	Аппроксимирующая зависимость	Поправочный коэффициент
1	Полиномиальная функция	1,248
	Экспоненциальная функция	1,217
2	Полиномиальная функция	1,260
	Экспоненциальная функция	1,250
3	Полиномиальная функция	1,130
	Рациональная функция	1,128
4	Полиномиальная функция	1,130
	Рациональная функция	1,128

В качестве заключения следует отметить следующие основные моменты:

1) выведенные зависимости изменения порозности засыпки металлошихты по высоте бадьи применимы только при одновременном соблюдении двух условий:

– загрузка металлошихты в корзину на заводе осуществляется в том же порядке и в тех же массовых пропорциях, что и в приведенном примере (на ОАО «Уральская сталь»);

– исследуемая корзина имеет примерно то же соотношение между полезной высотой и диаметром, т.е. $h/d = 1,12 - 1,15$;

2) также функциональные зависимости с допустимой погрешностью могут быть применены и для загрузочных бадей с иным соотношением h/d , но при условии, что максимально допустимые размеры кусков модельной засыпки, рассчитанные через коэффициент подобия к исследуемой корзине, примерно равны размерам экспериментальной засыпки.

Например, если принять, что стороны A, B, C моделируемого куска лома находятся в соотношениях $i = B/A$ и $j = C/A$, то объем модельного куска лома $V_{\text{мк}} = V_{\text{рк}} \cdot k$, где $V_{\text{рк}}$ – объем реального моделируемого куска, и, таким образом, стороны куска-модели равны:

$$a = \sqrt[3]{\frac{V_{\text{мк}}}{i \cdot j}}, \quad b = a \cdot i, \quad c = a \cdot j.$$

Таким образом, величина a при расчетах к иной бадье должна также составить 22 мм для легковесного

лома и 33 мм для листовой обрезки. Коэффициент k рассчитывается в таком случае следующим образом:

$$k = \left(\frac{0,1325}{D} \right)^3,$$

где D – диаметр иной исследуемой бадьи.

Список литературы

1. Китаев Б.И., Ярошенко Д.Г., Сучков В.Д. Теплообмен в шахтных печах. М.: Metallurgizdat, 1957. 279 с.
2. Тепло- и массообмен в плотном слое / Китаев Б.И., Тимофеев В.Н., Бокоников Б.А. и др. М.: Metallurgiya, 1972. 432 с.
3. Организация приемки и подготовки металлошхты для загрузки в дуговую электропечь: ТИ-13657842-СТ.ЭС-15-2012. Новотроицк, 2012. 6 с.
4. Братковский Е.В., Заводяный А.В. Электрометаллургия стали и спецэлектрометаллургия: учеб. пособие. Новотроицк: НФ МИСиС, 2008. 115 с.
5. Проектирование и оборудование электросталеплавильных и ферросплавных цехов: учебник / Гладких В.А., Гасик М.И., Овчарук А.Н. и др. Днепропетровск: Системные технологии, 2009. 736 с.
6. Гутер Р.С., Овчинский Б.В. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта. Ч. 1. Изд. 2-е. М.: Наука, 1970. 432 с.
7. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. М.: Наука, 1971. 192 с.
8. Алексеев Е.Р., Чеснокова О.В. Решение задач вычислительной математики в пакетах Mathcad 12, MATLAB 7, Maple 9. М.: НТ Пресс, 2006. 496 с.

Сведения об авторах

Бушуев Антон Николаевич – преподаватель кафедры теплоэнергетики и теплотехники Орского гуманитарно-технологического института (филиала) ВПО «Оренбургский государственный университет», Россия. Тел.: 8(3537)23-81-98. E-mail: nielsen1@mail.ru.

Гюнтер Дмитрий Александрович – канд. физ.-мат. наук, зав. кафедрой теплоэнергетики и теплотехники Орского гуманитарно-технологического института (филиала) ВПО «Оренбургский государственный университет», Россия. Тел.: 8(3537)23-81-98. E-mail: guenter@orsksamgups.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE DEPENDENCE OF METAL FURNACE CHARGE POROSITY CHANGING ON THE CHARGING BUCKET HEIGHT IN ELECTRIC FURNACE STEELMAKING

Bushuyev Anton Nikolaevich – Assistant Professor, Orsk humanitarian Institute of Technology (branch) of HE «Orenburg State University», Russia. Phone: 8(3537)23-81-98. E-mail: nielsen1@mail.ru.

Gunter Dmitry Aleksandrovich – Ph.D. (Phys.-Math.), Orsk Humanitarian Institute of Technology (branch) of HE «Orenburg State University», Russia. Phone: (3537)23-81-98. E-mail: guenter@orsksamgups.ru.

Abstract. Series of model experiments to study the dependency of metal furnace charge porosity changing on the charging bucket height in electric furnace steelmaking have been executed. The experiments performed comprise four ways of lumpy scrap charging in a basket, which are usual for the arc furnace operating modes: without and with liquid cast iron adding in technological process of smelting. On the basis of the data obtained functional dependence of metal furnace charge porosity changing on the charging bucket height for each of considered options have been established.

Keywords: approximation of data, electric furnace steelmaking, metal furnace charge, porosity, real covering, model covering.

References

1. Kitayev B.I. Yaroshenko D.G., Suchkov V.D. *Teploobmen's Knots in mine furnaces*. Moscow: Metallurgizdat, 1957. 279 p.
2. Kitayev B.I. Timofeev V.N., Bokonikov B.A. etc. *Warm and a mass exchange in a dense bed*. Moscow: Metallurgy, 1972. 432 p.
3. *The organization of acceptance and metal furnace charge preparation for loading in the arc electric furnace*. Technological instruction TI-13657842-ST.ES-15-2012. Novotroitsk, 2012, 6 p.
4. Bratkovsky E.V., Zavodyany A.V. *Elektrometallurgiya of steel and special electrometallurgy*. Novotroitsk: NF of MRS., 2008, 115 p.
5. Smooth V.A. Gasik M.I. Ovcharuk A.N. etc. *Design and equipment of electrosteel-smelting and ferroalloy shops: textbook*. Dnepropetrovsk: System technologies, 2009, 736 p.
6. Guter R.S., Ovchinsky B.V. *Elementy of the numerical analysis and mathematical processing of results of experience*. Moscow: Science, 1970, 432 p.
7. Rumshinsky L.Z. *Matematicheskaya processing of results of experiment*. Moscow: Science, 1971, 192 p.
8. Alekseev E.R. Chesnokova O.V. *The solution of problems of calculus mathematics in Mathcad 12, MATLAB 7, Maple 9 packages*. Moscow: NT Press, 2006, 496 p.

Панишев Н.В., Бигеев В.А., Черняев А.А.

ПЕРЕРАБОТКА МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА С ПОЛУЧЕНИЕМ ГРАНУЛИРОВАННОГО ЧУГУНА И ИЗВЛЕЧЕНИЕМ ЦИНКА

Аннотация. Был разработан способ утилизации мелкозернистых цинксодержащих металлургических отходов путем прямого восстановления с использованием элементов технологии ITmk3. Способ позволяет получать гранулированный чугун за 9-12 мин с попутным извлечением цинка.

Ключевые слова: прямое восстановление, цинксодержащие отходы, шламы, пыль.

На предприятиях с полным металлургическим циклом выход цинксодержащих отходов после сухой и мокрой очистки технологических газов в доменном и сталеплавильном производствах достигает 50 и более кг/т выплавляемой стали. Вовлечение в металлургический передел таких отходов без специальной предварительной подготовки ограничено из-за присутствия в них цинка. Участие в доменной плавке цинка нежелательно, поскольку его соединения вместе со щелочами оседают в виде настывшей на стенах доменной печи, искажая ее внутренний профиль, что, в свою очередь, нарушает ровный сход шихты, сопровождающийся потерей производительности печи [1]. Кроме того, растет удельный расход кокса на выплавку чугуна, поскольку на каждый килограмм цинка при восстановлении в доменной печи требуется не менее 10 кг кокса. По этой причине основная масса уловленной пыли и шлама депонируется соответственно в отвалах и шламохранилищах, загрязняя окружающую среду. Уместно отметить, что содержание цинка в металлургических отходах будет постоянно расти с увеличением доли в металлоломе автомобильного скрапа.

В России, являющейся экспортером железорудного сырья, не используются какие-либо технологии предварительной подготовки цинксодержащих отходов металлургического производства. В странах ЕС, Украине, Индии для этих целей используются вращающиеся трубчатые печи (процесс «Waelz»), отличающиеся высокими энергетическими затратами. В Японии, Китае, США для этих целей используют ПВП-печи с вращающимся подом (процесс «Fastmet»). Оба процесса обеспечивают удаление цинка на 98% и производят DRI – металлургическое сырье с низким содержанием железа, поскольку пустая порода остается в конечном продукте. По этой причине DRI используется в доменной плавке. Уловленная в рукавных фильтрах пыль, содержащая оксид цинка, реализуется предприятиям, производящим цинк.

В ОАО «ММК» образуется более 0,5 млн т/г цинксодержащих мелкозернистых отходов (табл. 1).

При этом колошниковая пыль полностью утилизируется в агломерационном производстве, аккумулируя содержание цинка в контуре аглодоменного передела.

Для снижения содержания цинка доменный шлам перерабатывается совместно с первородным железорудным сырьем на обогатительной фабрике. При этом выход концентрата составляет 56%, а содержание в нем железа и цинка составляет 64,5 и 0,57% соответственно. Следует отметить, что с хвостами безвозвратно теряется весь углерод, 30% железа и 70% цинка или 25,2 тыс.т/г углерода (до 30 тыс.т/г кокса в пересчете на углерод), 27 тыс.т/г железа, из которого можно было бы выплавить 28,7 тыс. т/г чугуна и 1,6 тыс. т/г цинка.

Таблица 1

Образование отходов металлургического производства

Вид отхода	Выход		Отходы содержат					
	тыс.т/г	%	Fe		Zn		C	
			тыс.т/г	%	тыс.т/г	%	тыс.т/г	%
Колошниковая пыль	220,245	43,9	98,23	43,0	0,385	10,26	43,17	63,14
Доменный шлам	183,947	36,7	89,77	39,3	2,263	60,28	25,20	36,86
Пыль ЭСПЦ	17,680	3,5	7,34	3,2	0,292	7,78	-	-
Конвертерный шлам	79,776	15,9	33,11	14,5	0,814	21,68	-	-
Всего	501,648	100	228,45	100	3,754	100	68,37	100

Пыль электросталеплавильного производства (ЭСПЦ) направляется на рекультивацию отработанных карьеров рудника. Безвозвратно теряется 7,34 тыс. т/г железа (можно было бы выплавить 7,8 тыс. т/г чугуна) и 0,292 тыс. т/г цинка.

Конвертерный шлам депонируется в гидрозолопородотвал. Соответственно теряется 33,11 тыс. т/г железа (35,2 тыс. т/г чугуна) и 0,814 тыс. т/г цинка.

Таким образом, из оборота выведено 67,45 тыс. т/г железа (эквивалентно 71,8 тыс.т/г чугуна), 2,7 тыс.т/г цинка и 68,37 тыс.т/г углерода.

В отличие от ОАО «ММК» на ведущих предприятиях России (ОАО «Северсталь» и ОАО «НЛМК», обеспеченных на 100% собственным железорудным сырьем – ЖРС) утилизируется только колошниковая пыль. Остальные цинксодержащие отходы складываются либо реализуются на сторону, например, цементным заводам. Это объясняет высокое содержание

цинка в доменной шихте ОАО «ММК» (до 520 г/т чугуна) в отличие от ОАО «НЛМК» (100 г/т чугуна) и ОАО «Северсталь» (180 г/т чугуна).

Низкая обеспеченность ОАО «ММК» собственным ЖРС вынуждает использовать доменные шламы в металлургическом переделе после неэффективной их подготовки.

В последнее время в мире продвигается передовая технология ITmk3, позволяющая получать напрямую металл из железосодержащего сырья за 9-12 мин [2-4]. Аналогично процессу «Fastmet» технология реализуется в ПВП, но при температурах выше 1350°C. Металл и шлак крупностью 0-20 мм легко отделяются друг от друга на магнитном сепараторе. Сведений об использовании элементов технологии ITmk3 при переработке цинксодержащих отходов в промышленных масштабах в мире нет.

Целью исследований, проведенных в ОАО «ММК» и МГТУ [3, 4], являлось изучение:

- возможности получения металла прямым восстановлением из мелкозернистых металлургических отходов с попутным улавливанием цинка;

- влияния температуры и продолжительности термообработки отходов металлургического производства ОАО «ММК» на показатели восстановительного процесса.

Для проведения исследования были отобраны пробы отходов, химический состав которых приведен в табл. 2.

Характеристика отходов металлургического производства

Вид отхода	Содержание, %										
	Zn	Fe	C	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	S	ппп
Колошниковая пыль	0,17	44,6	19,6	10,1	52,6	8,26	1,97	3,22	1,29	0,300	21,6
Доменный шлак	1,23	48,8	13,7	10,6	58,0	6,70	1,88	3,21	1,31	0,410	15,8
Пыль ЭСПЦ	1,65	41,5	-	16,4	38,9	8,76	1,65	18,5	2,70	0,210	4,51
Конвертерный шлак	1,02	52,8	-	44,4	14,1	3,00	0,67	14,8	7,10	0,094	5,2

Расход углерода в опытах соответствовал стехиометрической потребности в нем на прямое восстановление железа и цинка из соответствующих оксидов (FeO, Fe₂O₃ и ZnO). Источником углерода в шихте при его дефиците являлся концентрат ГОФ «Коксовая», характеристика которого представлена в табл. 3.

Таблица 3

Технический состав твердого топлива

Топливо	Содержание, %			
	A	V	S	C
Концентрат ГОФ «Коксовая»	9,7	19,5	0,4	83,7

Анализ проекций ликвидус четверной системы CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂ показывает [4], что колошниковая пыль и доменный шлак с золой концентрата ГОФ «Коксовая» обеспечивают состав пустой породы в области пироксена с температурой плавления 1300°C (рис. 1). Поэтому шихтовку на основе этих материалов вели без каких-либо флюсов.

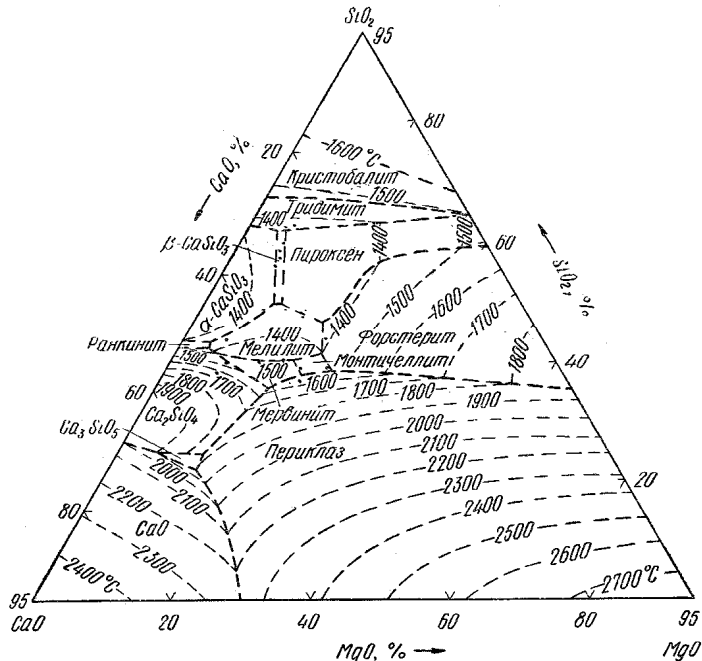


Рис.1. Проекция поверхности ликвидус четверной системы CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂ при 5% Al₂O₃ [5]

Таблица 2

Расчетным путем [6] было установлено, что температура плавления пустой породы пыли ЭСПЦ и конвертерного шлака превышает соответственно 2000 и 2300°C. Для снижения температуры плавления первичного шлака из этих отходов в шихту вводили кварцит.

Для выравнивания условий теплопередачи пробы отходов, смешанных с твердым топливом и кварцитом (при необходимости) истиранием, загружали с уплотнением в стеклоглериодистые стаканы слоем высотой 10 мм. Формирование проб вели с учетом выходов соответствующих отходов (см. табл. 1). Параллельно вели опыты с окатышами. Для изготовления окатышей в качестве связующего использовали пшеничную муку. Перед обжигом окатыши высушивали в сушильном шкафу.

Термообработку проводили в камерной нагревательной печи «Nabertherm», позволяющей контролировать заданный темп нагрева и требуемую выдержку до 1800°C. Печь вместе с подложкой разогревали до заданной температуры, затем подложку вынимали из печи, располагали на ней исследовательские пробы в стаканах и вновь загружали в печь. Термообработку вели при температурах 1400-1500°C. Продолжительность термообработки составляла 8-10 мин. Изложен-

ная методика позволяла эмитировать работу печи с подвижным подом.

После термообработки из материала выделяли и провешивали металл и шлак, из которых выделяли пробы для проведения химического анализа.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что цинксодержащие металлургические отходы пригодны для получения металла прямым восстановлением при незначительной корректировке состава шихты. Повышенное содержание углерода в колошниковой пыли позволяло вести процесс термообработки шихты без добавок твердого топлива не только в случае с этим отходом, но и в смеси с конвертерным шлаком или с пылью ЭСПЦ в соответствии с их выходами. Характеристики продуктов термической обработки металлургических отходов приведены в табл. 4 и 5.

Таблица 4

Характеристика металла

Массовая доля, %				
C	S	Mn	Si	Fe
1,73 – 3,21	0,21 – 0,55	0,036 – 0,350	0,037 – 1,470	95,6 – 97,3

Таблица 5

Характеристика шлака

Массовая доля, %				
ZnO	S	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
0,010 – 0,012	0,10 – 0,43	18,2 – 40,8	3,11 – 11,2	34,1 – 48,5

Характер изменения содержания CO и CO₂ в процессе термообработки (рис. 2) позволяет судить о том, что восстановление оксидов Zn и Fe происходило в смешанном режиме с незначительной долей восстановительных процессов в присутствии жидкой фазы.

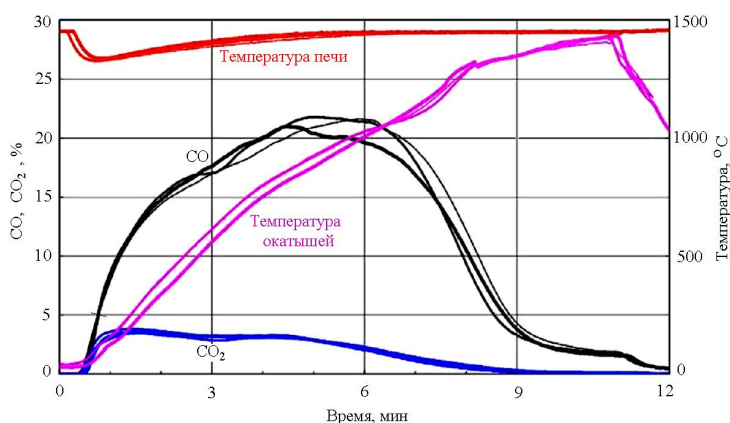
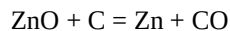


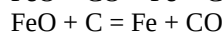
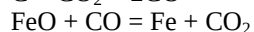
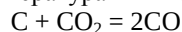
Рис. 2. Характерные кривые изменения содержания CO и CO₂ в отходящих газах, а также температуры в печи и рудно-топливных окатышей [4]

При этом существенное развитие получало прямое восстановление.

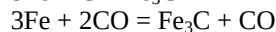
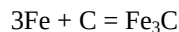
Восстановленный цинк при температурах выше 900°C практически полностью переходил в газовую фазу, где вновь окислялся до цинкита.



Оксиды железа восстанавливались углеродом при температурах выше 1100°C.



Формирование чугуна, плавление чугуна и шлака из пустой породы и шлака протекало при температурах выше 1300°C.



Содержание Zn в металле не превышало 0,001%. Металл в виде гальки и шлак в форме лепешек легко отделялись друг от друга на магнитном сепараторе.

Анализ полученных результатов позволил определить расходы всех цинксодержащих отходов (при сложившемся соотношении их выходов в ОАО «ММК») на 1 т металла, т:

- колошниковая пыль	0,899
- доменный шлак	0,752
- пыль ЭСПЦ	0,072
- конвертерный шлак	0,326
- уголь (любой некоксуемый)	0,184

Таким образом, в результате переработки всего объема образующихся отходов можно получить 245 тыс. т/г металла, 61,7 тыс. т/г шлака крупностью до 20 мм и более 4 тыс. т/г уловленной в процессе термообработки пыли, содержащей оксид цинка.

Металл может заменить часть лома (до 30%) в сталеплавильном переделе. Шлак, являясь по характеристикам схожим с доменным шлаком, может использоваться в строительной индустрии (при производстве цемента и бетона), а также в дорожном строительстве. Уловленная в процессе термообработки пыль является сырьем для получения цинка.

В мировой практике (в странах с дефицитом ЖРС и жестким экологическим законодательством) удаление цинка из металлургических отходов производят во вращающихся трубчатых печах (процесс «Waelz») и в печах с вращающимся подом – ПВП (процесс «Fastmet»). При температурах до 1350°C в присутствии углерода восстановленный цинк возгоняется в газовую фазу, где вновь окисляется до цинкита (ZnO), который затем улавливается в рукавных фильтрах. Конечными продуктами являются DRI (металлизированный продукт), включающий в себя всю исходную пустую породу, и улавливаемая пыль, содержащая оксид цинка. Вследствие низкого содержания железа, DRI используется в доменной плавке с повторным нагревом пустой породы с переводом с помощью флюсов в шлак.

Наиболее привлекательной является технология ITmk3, схожая по используемому агрегату (ПВП) с технологией Fastmet. В отличие от последней температура в печи на 50-100°C выше и, кроме того, используются флюсы (при необходимости). Такие элементы технологии позволяют за то же самое время получать гранулированный чугун, легко

отделяемый на магнитном сепараторе от шлака с попутным извлечением цинка с уловленной в рукавных фильтрах пылью. Таким образом, получается три готовых товарных продукта: металл, как заменитель металлолома в сталеплавильном производстве, шлак крупностью 0-20 мм, как сырье в дорожном строительстве (в т.ч. для подсыпки дорог в зимнее время), производстве цемента и бетона, а также цинксодержащая пыль, как сырье для заводов, производящих цинк. Можно отметить и другие преимущества по сравнению с технологиями, производящими DRI из отходов:

- пустая порода нагревается один раз;
- устраняются затраты на обслуживание огненно-жидкого шлака, полученного из пустой породы.

Доказана принципиальная возможность получения металла напрямую из мелкозернистых Zn-содержащих отходов металлургического производства по технологии ITmk3 с попутным извлечением цинка.

Расчетным путем найден оптимальный состав шихты, обеспечивающий температуру плавления первичного шлака в пределах 1300-1400°C, а также оптимальное содержание углерода на прямое восстановление железа и цинка.

Но самое главное – новая технология (без участия доменного, коксохимического и агломерационного производств аналогичной мощности) значительно снижает нагрузку на окружающую среду. Так, выбросы

углекислого газа, двуокиси серы, оксидов азота и других вредных веществ снижаются на 30% по сравнению с традиционными металлургическими технологиями.

Полученные в ходе исследования результаты являются исходными технологическими параметрами для проектирования агрегата по переработке мелкозернистых цинксодержащих отходов металлургического производства.

Список литературы

1. Металлизация доменных шламов / Никифоров Б.А., Бигеев В.А., Сибатулин С.К. и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2005. №3. С. 23-25.
2. Kobayashi I., Tanigaki Y. and Uragami A. A new process to produce iron directly from fine ore and coal. *Iron and Steelmaker*. 2001, no. 9, pp. 19-22.
3. Panishev N.V., Dubrovsky B.A., Starikov A.I., Redin E.V. and Kryazev E.V. Direct reduction of Ti-V magnetite via ITmk3 technology. Proceedings of the 4th International Symposium on High-Temperature Metallurgical Processing. San Antonio, Texas, USA, March 3-7, 2013, pp. 45-48.
4. Металлизация шпатовых железняков Бакальского месторождения с получением гранулированного чугуна / Дубровский Б.А., Шилиев П.В., Редин Е.В., Панишев Н.В., Князев Э.В., Пильщиков И.В., Церковников Н.С. // Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции «Энергосберегающие технологии в промышленности. Печные агрегаты. Экология», посвященной 80-летию ММК, Москва, 15-20 октября. М., 2012. С. 178-182.
5. Свойства жидких доменных шлаков / Воскобойников В.Г., Дунаев Н.Е., Михалевич А.Г. и др. М.: Металлургия, 1975. 184 с.
6. Бигеев В.А., Пантелеев А.В., Черняев А.А. Математическое моделирование твердофазного восстановления пылей и шламов // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах: междунар. сб. науч. трудов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. Ч. II. С. 151-155.

Сведения об авторах

Панишев Николай Васильевич – канд. техн. наук, доц. кафедры «Металлургия черных металлов» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: (3519)29-84-49.

Бигеев Вахит Абдрашитович – д-р техн. наук, проф., директор института металлургии, машиностроения и материалов обработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: v.bigeev11@yandex.ru.

Черняев Александр Александрович – аспирант кафедры «Металлургия черных металлов» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: alexch_study@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

FINE-GRAINED METALLURGICAL WASTES RECYCLING FOR IRON PELLETS PRODUCTION AND ZINC EXTRACTION

Panishev Nicolai Vasilevich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: (3519)29-84-49.

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

Chernyaev Alexander Alexandrovich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: alexch_study@mail.ru.

Abstract. A new ITmk3-based fine-grained zinc-bearing metallurgical wastes recycling method of direct reduction was developed. The method allows producing iron pellets and zinc extracting within 9-12 minutes.

Keywords: direct reduction, zinc-bearing wastes, sludge, dust.

References

1. Nikiforov B.A., Bigeev V.A., Sibagatulin S.K. et al. Metallization of blast furnace sludge. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2005, no. 3, pp. 23-25.
2. Kobayashi I., Tanigaki Y. and Uragami A. A new process to produce iron directly from fine ore and coal. *Iron and Steelmaker*. 2001, no. 9, pp. 19-22.
3. Panishev N.V., Dubrovsky B.A., Starikov A.I., Redin E.V. and Kryazev E.V. Direct reduction of Ti-V magnetite via ITmk3 technology. Proceedings of the

4th International Symposium on High-Temperature Metallurgical Processing. San Antonio, Texas, USA, March 3-7, 2013, pp. 45-48.

4. Dubrovsky B.A., Shiliaev P.V., Redin E.V. et al. Metallization of siderites from Bakal ore deposits and production of iron pellets. *Collected papers of VI International theoretical and practical conference «Energy-efficient technologies in industry. Furnaces. Ecology» dedicated to the 80th anniversary of MMK*. Moscow, 2012, pp. 178-182.
5. Voskoboinikov V.G., Dunaev N.E., Mihalevich A.G. et al. *Characteristics of liquid blast furnace slags*. Moscow: Metallurgiya, 1975, 184 p.
6. Bigeev V.A., Panteleev A.V., Chernyaev A.A. Mathematical modelling of solid-phase disoxidation of dust and sludge. *Matematicheskoe i programnoe obespechenie sistem v promyshlennoy i sotsyalnoy sferah: mezhdunar. sb. nauch. trudov* [Mathematical models and software for industry and social sphere systems]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2011, vol. II, pp. 151-155.

УДК 669.14.018.258

Колокольников В.М., Иванова И.В., Петроченко Е.В.

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ОБРАБОТКА РАСПЛАВА ЛИТЕЙНОЙ ШТАМПОВОЙ СТАЛИ 4Х5В2ФСЛ

Аннотация. Высокотемпературная обработка расплава литой штамповой стали – эффективный и недорогой способ, позволяющий получать высокий комплекс свойств литой отливки.

Экспериментальные работы заключались в определении «критической» точки и режимов проведения обработки расплава стали 4Х5В2ФСЛ. Для этого была получена зависимость кинематической вязкости от температуры нагрева расплава.

«Критическая» точка расплава стали 4Х5В2ФСЛ равна 1760°C. С целью получения благоприятной первичной литой структуры и высоких свойств отливок предложено выдерживать расплав стали при 1710°C не более 5 мин и заливать при температуре 1560°C. Структура литых образцов представлена М-А+специальные карбиды типа МС.

Ключевые слова: литейная штамповая сталь, высокотемпературная обработка, твердость, износостойкость, структура, критическая точка.

Достаточно эффективным и при этом недорогим способом, позволяющим получать высокий комплекс механических и эксплуатационных свойств литой отливки из сложнелегированной стали, является высокотемпературная обработка ее расплава (ВТОР).

Суть процесса [1-5] заключается в нагреве металла до определенных критических температур, его выдержки в течение определенного времени, охлаждении до температур разливки и выдержки металла вблизи температуры разливки. Данный метод основан на изучении закономерностей изменения физических свойств жидких сплавов под действием теплового воздействия взаимосвязи структурообразования и жидкого состояния расплава. Тепловое воздействие в течение определенного времени на расплав позволяет регулировать наследственность шихтовых материалов, нивелировать действие нежелательных примесей и получать сплавы с необходимой структурой, химическим составом и регламентированным содержанием газовых и неметаллических включений, получить отливки с меньшим размером зерна и с повышенной пластичностью и прочностью металла [1].

Экспериментальные работы, проводимые на кафедре ЛП и М ФГБОУ ВПО «МГТУ», были направлены на исследование влияния температурно-временных режимов выплавки стали и скорости охлаждения ее расплава в форме на механические свойства и структурные характеристики литой штамповой стали 4Х5В2ФСЛ.

Химический состав стали 4Х5В2ФСЛ, масс. %: 0,35-0,45 С; 0,8-1,2 Si; 0,15-0,45 Mn; до 0,35 Ni; до 0,03 S и P; 4,5-5,5 Cr; 0,6-0,9 Mo; 1,6-2,2 W; 0,6-0,9 V; до 0,3 Cu. Данная сталь применяется для изготовления пресс-форм при литье под давлением цинковых, алюминиевых и магниевых сплавов, молотовых и прессовых вставок (сечением до 200-250 мм) при горячем деформировании конструкционных сталей, инструмента для высадки заготовок из легированных

конструкционных и жаропрочных материалов на горизонтально-ковочных машинах.

О температурно-временном режиме расплава можно судить по результатам измерения такого структурно-чувствительного свойства, как кинематическая вязкость [1-5].

Температурная зависимость кинематической вязкости $\nu(t)$ расплава стали 4Х5В2ФСЛ представлена на рис. 1.

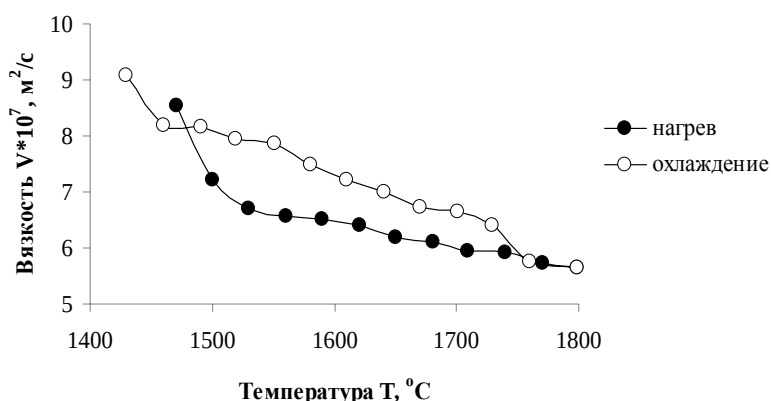


Рис. 1. Температурная зависимость кинематической вязкости $\nu(t)$ расплава стали 4Х5В2ФСЛ

При изучении вязкости расплава стали 4Х5В2ФСЛ было обнаружено, что после расплавления образца и нагрева расплава до температуры 1800°C изменение его свойства имело ярко выраженный осциллирующий характер. Условием возникновения осцилляций является наличие в расплаве сравнительно устойчивых во времени двух или более атомных координаций. Наблюдаемое медленное затухание осцилляций свидетельствовало о том, что расплав способен был длительное время пребывать в состоянии частичного равновесия [6].

Обнаруживается гистерезис кривых вязкости. Он объясняется изменениями в структуре расплавов и свидетельствует об исчезновении неравновесных неоднородностей, унаследованных от шихтовых материалов, и о необратимости этих процессов. Перегрев

стали до температуры 1760°C исключает их последующее ветвление.

Были получены уравнения регрессии вязкостного течения расплава стали 4Х5В2ФСЛ, которые позволили рассчитать энергии активации вязкого течения расплава в области жидкого состояния стали, Дж/моль: 2724,01 (при нагреве) и 2742,3 (при охлаждении). Разница в значениях энергий активации при охлаждении и при нагреве свидетельствует об образовании кластерных групп, отличающихся по типу и строению от групп до получения равновесного расплава.

Аномальный рост при температуре $t_{ан}=1760^{\circ}\text{C}$ свидетельствует об интенсивном разрушении микрогруппировок, соответствующих строению фаз и соединений твердого металла, при нагреве его до этой температуры. То есть расплав стали 4Х5В2ФСЛ можно перевести в равновесное состояние без дополнительной выдержки путем нагрева его до температуры 1760°C.

Были проведены исследования по влиянию температуры выдержки и времени релаксации расплава на структурообразование и свойства стали 4Х5В2ФСЛ при температурах, °C: 1670, 1690 и 1710 в течение 5, 10 и 15 мин при каждой температуре. Расплавы стали заливали при температуре $t_{зал}=1560^{\circ}\text{C}$.

Экспериментальные сплавы получали в индукционной печи ИСТ-006 с основной футеровкой. Образцы заливали в литейные формы с различной теплоаккумулирующей способностью – в песчано-глинистую форму (сухую) и чугунный кокиль. Это обусловило различные условия охлаждения расплавов.

Количественный анализ проводили на анализаторе изображений Thixomet Standard при увеличении от 100 до 1000 крат на шлифах до и после травления.

Испытания на износостойкость (K_n) исследуемых образцов проводили по методике, регламентированной ГОСТ 23.208-79 «Метод испытания материалов на износостойкость при трении о не жестко закрепленные абразивные частицы». Испытания проводились на образцах с размерами 35x35x10 мм. В качестве абразива использовался электрокорунд зернистостью №16П по ГОСТ 3647-80. Мерой износа служило отношение потери веса образца к потере веса эталона, в качестве которого использовали сталь 45.

Твердость образцов по Роквеллу (HRC) определяли на приборе Ernst AT 130D в соответствии с ГОСТ 9012-59.

Механические свойства литых образцов представлены в табл. 1.

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что твердость изменяется в пределах 40,8-56,1 ед.; износостойкость – 1,2-1,79; прочность – 1040-1280 МПа.

При увеличении температуры выдержки расплава происходит незначительное снижение всех свойств. При этом полученные свойства и структура опытных образцов, залитых в песчано-глинистые формы и кокиль, различны. Литые образцы, охлаждаемые с меньшей скоростью охлаждения в песчано-глинистых фор-

мах, имеют наименьшие показатели свойств, нежели образцы, заливаемые в металлические формы [7].

Таблица 1

Свойства стали 4Х5В2ФСЛ после проведения высокотемпературной обработки ее расплава

Температура выдержки, °C	Время выдержки, мин	Свойства		
		HRC, ед.	Кн, ед.	σ_b , МПа
		Тип литейной формы ПГФ сухая/ кокиль		
1670	5	55,3/56,1	1,36/1,79	1270/1280
	10	52,3/54,1	1,42/1,44	1210/1240
	15	51,7/53,3	1,49/1,52	1210/1230
1690	5	45,0/46,8	1,38/1,46	1090/1130
	10	40,8/41,6	1,60/1,74	1040/1050
	15	47,7/49,9	1,55/1,66	1140/810
1710	5	47,0/48,1	1,38/1,55	1190/1140
	10	44,3/45,2	1,25/1,44	1090/1100
	15	45,2/45,7	1,20/1,42	1090/1120

Структура стали 4Х5В2ФСЛ, расплав которой выдерживался при температуре 1670°C, состоит из двойного эвтектоида ($\Phi+VC$) феррита и карбидов VC в виде тонких длинных пластин или мелких глобулей и мартенситно-аустенитных областей (рис. 2).

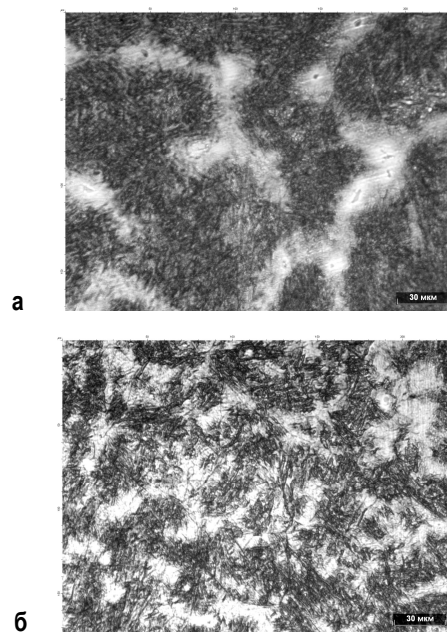


Рис. 2. Микроструктура литых образцов стали 4Х5В2ФСЛ, расплав которой выдерживался в ковше при температуре 1670°C в течение 5 мин и охлаждался в песчано-глинистой (а) и металлической (б) формах

При дальнейшем увеличении температур выдержки расплава структура литых образцов состоит из мартенситно-аустенитных областей и избыточных

специальных карбидов типа MC, ферритная составляющая отсутствует (рис. 3).

Микроструктуру литых образцов стали 4X5B2ФСЛ оценивали по ГОСТу 8233-56 при увеличении 1000 крат (табл. 2).

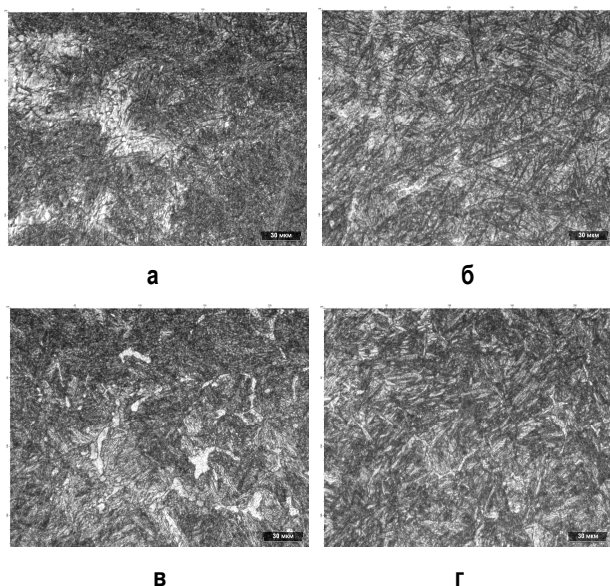


Рис. 3. Микроструктура литых образцов стали 4X5B2ФСЛ, залитых в песчано-глинистую форму после выдержки их расплава при температуре 1690°C в течение 15 мин (а); в кокиль – при 1690°C в течение 15 мин (б); в песчано-глинистую форму – при 1710°C в течение 5 мин (в) и в кокиль – при 1710°C в течение 5 мин (г)

Повышение температуры выдержки приводит, прежде всего, к измельчению кластерной структуры сплава, отчего доля карбидоподобных микрогруппировок уменьшается. Нагрев до 1710°C способствует обратимому интенсивному распаду этих группировок с разрушением в первую очередь самых слабых связей Fe-C. Это, в свою очередь, увеличивает диффузионную подвижность атомов хрома, который теперь входит в комплексы меньшего размера. Следствием такого превращения является повышенная концентрация углерода в металлической матрице расплава, а затем и в первичных дендритах твердой стали. Этим и обусловлено значительное снижение объемной доли карбидов (Cr, Fe)₇C₃ и их измельчение.

Выводы

1. На основе выявленной зависимости кинематической вязкости от температуры нагрева определена критическая точка расплава стали 4X5B2ФСЛ $t_{ан}=1760^{\circ}\text{C}$, при достижении которой возможен перевод расплава в равновесное состояние без дополнительной выдержки.

2. Получены значения энергий активации вязкого течения расплава в области жидкого состояния стали 4X5B2ФСЛ при нагреве 2724,01 Дж/моль и охлаждении 2742,3 Дж/моль. Это позволило установить, что

кластерные группы до и после равновесного состояния отличаются по типу и строению.

3. Исследования предложенных режимов ВТОР стали показали, что выдержка при температурах вблизи критической температуры приводит к изменению типа, формы и однородности распределения, что, в свою очередь, приводит к изменению свойств.

4. Повышение температуры выдержки расплава до температур 1690-1710°C приводит к формированию более однородной структуры мартенситно-аустенитной с избыточными карбидами типа MC без ферритной составляющей.

Таблица 2

Микроструктура экспериментальных сталей

Температура выдержки $t, ^{\circ}\text{C}$	Время выдержки, мин	Тип литейной формы	
		сухая ПГФ	кокиль
		Характеристика структуры, балл, средний диаметр зерен цементита	
1670	5	Крупноиглообразный мартенсит/ 7 балл	Крупноиглообразный мартенсит/ 7 балл
	10	Средне- и крупноиглообразный мартенсит/ 6-8 балл	Средне- и крупноиглообразный мартенсит/ 6-8 балл
	15	Средне- и крупноиглообразный мартенсит/ 6-8 балл	Среднеиглообразный мартенсит/ 6 балл
1690	5	Мартенсит крупноиглообразный/ 8-9 балл	Средне- и крупноиглообразный мартенсит/ 6-8 балл
	10	Крупноиглообразный мартенсит/ 8 балл	Крупноиглообразный мартенсит/ 7 балл
	15	Крупноиглообразный Мартенсит/ 7 балл	Средне- и крупноиглообразный мартенсит/ 6-7 балл
1710	5	Средне- и крупноиглообразный мартенсит/ 6-7 балл	Среднеиглообразный мартенсит/ 6 балл
	10	Средне- и крупноиглообразный мартенсит/ 6-7 балл	Среднеиглообразный мартенсит/ 6 балл
	15	Крупноиглообразный мартенсит/ 7 балл	Среднеиглообразный мартенсит/ 6 балл

Список литературы

- Коваленко Л.В., Панов А.Г. Применение внешних воздействий при затвердевании слитков. М.: Металлургия, 2003. 153 с.
- Панов А.Г. Роль и место модифицирования расплавов чугунов с точки зрения наследственности сплавов // Металлургия машиностроения, 2006. №5. С. 22-27.
- Савина Л.Г. Влияние высокотемпературной обработки расплава на структуру и свойства высокоуглеродистых сплавов железа: дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2003. 129 с.
- Жидкая сталь / Баум Б.А., Хасин Г.А., Тягунов Г.В., Клименков К.А. М.: Металлургия, 1984. 208 с.
- Стальная слиток: в 3 т. Т.1. Управление кристаллической структурой / Ю.А.Самойлович, В.И.Тимошпольский, И.А.Трусова, А.П.Несенчук, А.П.Фоменко; под общ. ред. В.И.Тимошпольского, Ю.А.Самойловича. Мн.: Беларуская Навука, 2000. 583 с.
- Баум Б.А., Шульгин Д.Б., Булер Т.П.. Осциллирующий характер процесса релаксации металлической жидкости // Свойства металлических расплавов. Екатеринбург, 2008. 357 с.
- Колокольцев В.М., Иванова И.В. Литейная сталь для штампов горячего деформирования // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. №4 (28). С. 15-17.

Сведения об авторах

Колокольцев Валерий Михайлович – д-р техн. наук, проф., ректор ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8(3519)29-84-02. E-mail: kwm@magtu.ru.

Иванова Ирина Владимировна – аспирант кафедры литейного производства и материаловедения ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: ivanova.mgtu@mail.ru

Петроченко Елена Васильевна – д-р техн. наук, доц. кафедры литейного производства и материаловедения ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: evp3738@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

HIGH-TEMPERATURE PROCESSING OF MELT OF CASTING DIE STEEL 4X5B2FC

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

Ivanova Irina Vladimirovna – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: ivanova.mgtu@mail.ru

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

Abstract. High-temperature processing of melt of casting die steel is an effective and inexpensive method of obtaining a high complex of properties of castings.

The experimental work was to study the search for a «critical» point and high-temperature processing of melt of casting die steel 4X5B2FC modes. For this purpose was obtained dependence of kinematic viscosity / heating temperature of the melt.

The «critical» point of melt of casting steel 4X5B2FC is 1760°C. The melt of steel kept at a temperature of 1710°C not more than 5 minutes and filled at a temperature 1560°C for the purpose of obtaining favorable primary cast structure and high properties of castings. The cast samples is M-A+ special carbide type MC.

Keywords: casting die steel, high-temperature processing, hardness, wear resistance, structure, allowing, critical point.

References

1. Kovalenko L.V., Panov A.G. The use of external influences on solidification of ingots. Moscow: Metallurgy, 2003. 153 p.
2. Panov A.G. The role and place of the modification of molten iron from the point of view of heredity alloys. *Metallurgy mechanic engineering*. 2006, no. 5, pp. 22-27.
3. Savina L.G. *The influence of high-temperature processing of melt structure and properties of high-carbon alloys of iron*: PhD dis. Ekaterinburg, 2003, 129 p.
4. Baum B.A., Hasin G.A., Tiagunov G.V., Klimenkov K.A. *Molten steel*. Moscow: Metallurgy, 1984. 208 p.
5. Samoilovich U.A., Timoshpolsky V.I., Trusova I.A., Nesenchuk A.P., Fomenko A.P. *Steel ingot*. Ed. V.I. Timoshpolsky, U.A. Samoilovich. Minsk: Belarusian science, 2000. 583 p.
6. Baum B.A., Shulgin D.B., Buler T.P. The oscillating character of the process of the relaxation of the liquid metal. The work of the Institute of metal physics of liquids UGTU-UPI: p. 1. *Properties of metallic melts*. Ekaterinburg, 2008, 357 p.
7. Kolokoltsev V.M., Ivanova I.V. The foundry steel for stamps of hot deformation. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2009, no. 4 (28), pp. 15-17.

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.793.18

Громов В.Е., Иванов Ю.Ф., Романов Д.А., Вашук Е.С., Танг Г., Райков С.В., Будовских Е.А., Сонг Г.

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО МЕДНЕНИЯ СТАЛИ 45 И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ*

Аннотация. Рельеф поверхности и особенности структуры стали 45 после электровзрывного меднения и последующей электронно-пучковой обработки исследованы методами сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии. Установлено, что содержание меди в поверхностном слое увеличивается в 2 раза с ростом числа импульсов электронно-пучковой обработки. Высокая скорость кристаллизации в модифицированном слое сопровождается ростом твердости поверхностного слоя при небольшом числе импульсов (5-10). Дальнейшее увеличение количества импульсов облучения приводит к существенному снижению твердости поверхности слоя.

Ключевые слова: электровзрывное легирование, меднение, электронно-пучковая обработка, структура, фазовый состав, свойства.

Введение

Электровзрывное легирование (ЭВЛ) [1] и электронно-пучковая обработка (ЭПО) [2] – это современные эффективные методы модификации структуры, фазового состава и свойств поверхности металлов и сплавов. Инструментами воздействия на поверхность при их использовании являются импульсные многофазные плазменные струи и электронные пучки соответственно.

Импульсные многофазные плазменные струи, используемые для электровзрывного легирования, и низкоэнергетические сильноточные электронные пучки хорошо сочетаются друг с другом, имея сопоставимые значения поглощаемой плотности мощности (порядка 10^5 Вт/см²), площади облучаемой поверхности (до 10-15 см²) и глубины зоны упрочнения (порядка нескольких десятков микрометров). Время импульса при ЭВЛ составляет 100 мкс, при ЭПО – 50, 100, 150 и 200 мкс.

Основная идея комбинированной обработки, включающей ЭВЛ и ЭПО, заключается в выравнивании рельефа поверхности обработки и модификации структуры, фазового состава и свойств зоны легирования.

В настоящей статье анализируются результаты, полученные при исследовании структуры и свойств поверхностных слоев стали 45, подвергнутой электровзрывному меднению и последующей электронно-пучковой обработке.

Материалы и методика исследований

ЭВЛ поверхности образцов стали осуществляли путем электрического взрыва медных фольг толщиной 20 мкм (СибГИУ, Новокузнецк). Условия для осуществления импульсного жидкофазного легирования задавали величиной зарядного напряжения нако-

пителя энергии ускорителя, диаметра канала сопла и расстояния от его среза до образца, которые составили соответственно ~2,3 кВ, 20 и 20 мм. При данных параметрах глубина и радиус зоны легирования были максимальными. Время обработки 100 мкс, поглощаемая плотность мощности на оси струи ~5,5 ГВт/м², динамическое давление в ударно-сжатом слое вблизи поверхности – 11,2 МПа, площадь поверхности легирования ~3 см². Толщина зоны легирования в ее центральной области ~25 мкм. Его отличительной особенностью является сильное влияние на результаты обработки давления струи на поверхность, приводящее к радиальному течению расплава от центра зоны легирования к периферии и даже выплеску. Вместе с этим, при таком режиме обработки достигается максимальная глубина зоны легирования, степень насыщения ее легирующими элементами и уровень формируемых свойств, что определяет повышенный интерес к нему.

Импульсную электронно-пучковую обработку поверхности образцов осуществляли на установке «СОЛО» (ИСЭ СО РАН). Конструктивной особенностью данной установки является возможность независимого управления параметрами пучка электронов (энергия ускоренных электронов U , плотность энергии пучка электронов E_s , длительность импульса воздействия τ , частота следования импульсов f , количество импульсов обработки N), целенаправленно изменяя режим обработки. В настоящей работе, используя возможности установки «СОЛО», применяли два варианта обработки поверхности электровзрывного легирования стали медью. В первом случае фиксировали значения плотности энергии ($E_s = 20$ Дж/см²), частоту следования ($f = 0,3$ Гц) и длительность импульса воздействия ($\tau = 50$ мкс) пучка электронов; варьировали количество импульсов воздействия в пределах $N = 5...50$. Во втором случае фиксировали длительность ($\tau = 50$ мкс), частоту следования ($f = 0,3$ Гц) и количество импульсов воздействия (10 имп.); варьировали плотность энергии пучка электронов в пределах $E_s = 15-30$ Дж/см². В обоих режимах обработку

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-02-12009 офи_м и госзадания Минобрнауки № 2.4807.2011.

осуществляли в инертной (аргон) среде рабочей камеры при давлении $\sim 10\text{--}2$ Па.

Исследования структуры поверхности облучения, поверхности травленного шлифа (прямой и «косой» шлифы) модифицированных образцов проводили методами электронной сканирующей (прибор SEM-515 «Phillips») и просвечивающей (приборы ЭМ-125 и JEM-2100 F) микроскопии, рентгеноструктурного анализа (прибор ДРОН-7). Изменение механических характеристик материала характеризовали микротвердостью, определяемой по методу Виккерса при нагрузке 0,98 Н по ~ 80 отпечаткам. Точность измерения составила 7%. Для идентификации фаз применялся дифракционный анализ с использованием темнопольной методики и последующим индентированием микроэлектроннограмм.

Анализ структуры и профиля микротвердости стали 45, подвергнутой поверхностной обработке

Электровзрывное легирование, преобразуя структурно-фазовое состояние поверхностного слоя обрабатываемого материала, оказывает влияние и на его механические свойства. На рис. 1 представлены профили микротвердости стали 45 после электровзрывного меднения (кривая 1) и после ЭПО исходной поверхности, не подвергавшейся легированию (кривая 2).

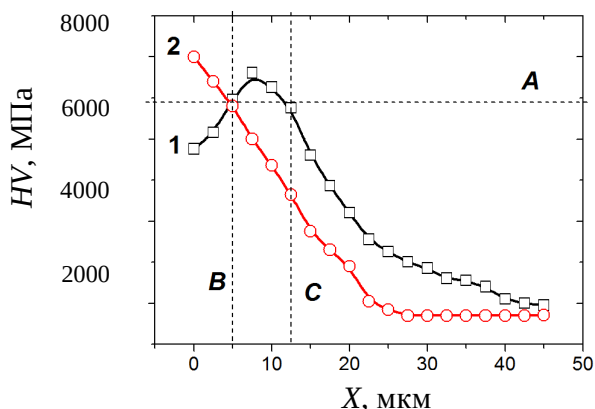


Рис. 1. Профиль микротвердости стали 45: 1 – после электровзрывного легирования медью; 2 – после электронно-пучковой обработки по режиму: 12 Дж/см²; 50 мкс; 0,3 Гц, 3 имп. Горизонтальной прямой А обозначена микротвердость стали 45, закаленной с печного нагрева (850°C, 1,5 ч)

Здесь же горизонтальной прямой А обозначена микротвердость стали 45, закаленной с печного нагрева (850°C, 1,5 ч). Зависимость микротвердости стали, подвергнутой электровзрывному меднению, от расстояния до поверхности обработки имеет явно выраженный нелинейный характер. Это позволяет выделить поверхностный слой толщиной ~ 5 мкм, микротвердость которого ниже микротвердости закаленной стали; промежуточный слой толщиной ~ 7 мкм, обозначенный на рис. 1 вертикальными прямыми В и С, микротвердость которого выше или равна микротвердости закаленной стали, и переходный слой толщиной ~ 30 мкм, микротвердость которого плавно спадает до величины исходного состояния. Микротвердость про-

межуточного слоя изменяется по кривой с максимумом, располагающемся на глубине ~ 7 мкм.

Микротвердость стали 45 после ЭПО имеет максимальное значение на поверхности облучения и с глубиной монотонно падает. Толщина закаленного слоя после ЭПО составляет ~ 5 мкм (рис. 1, вертикальная прямая В), что, очевидно, определено выбранным режимом обработки стали. При этом максимум микротвердости стали после ЭПО превышает максимальные значения микротвердости стали, закаленной после печного нагрева и после ЭВЛ. Электронно-микроскопические исследования показали, что это обусловлено формированием ультрамелкозернистой ($0,54 \pm 0,20$ мкм) структуры на поверхности обработки. Размеры кристаллов мартенсита в таких зернах изменяются в следующих пределах: поперечные 30–50 нм, продольные 120–500 нм.

Трактовка нелинейной зависимости микротвердости от расстояния до поверхности обработки стали 45 после электровзрывного меднения следует из анализа результатов, представленных в работе [1]. Поверхностный слой стали 45, имеющий микротвердость ниже микротвердости стали 45 после печной закалки, сформирован структурой ячеистой кристаллизации расплава, обогащенного атомами меди, углерода и кислорода. Промежуточный слой, значения микротвердости которого превышают микротвердость стали 45 после печной закалки, очевидно, сформировался в результате скоростной закалки железа. Более высокое значение микротвердости данного слоя (относительно микротвердости закаленной стали) может быть связано как с повышенной концентрацией углерода и наличием атомов меди в этом слое, так и с диспергированием структуры приповерхностного слоя стали вследствие скоростной закалки, вызванной импульсным воздействием. Нарастание микротвердости закаленного слоя по мере удаления от поверхности обработки может означать снижение объемной доли остаточного аустенита, стабилизированного атомами меди и углерода. Последующее снижение твердости обусловлено снижением концентрации углерода в материале, о чем свидетельствует изменение морфологии мартенсита, выявленное при исследовании армко-железа: переход от пластинчатого мартенсита, характерного для углеродистой стали, к пакетному мартенситу, характерному для низко- и среднеуглеродистой стали.

Следовательно, электровзрывное легирование стали 45 сопровождается насыщением поверхностного слоя атомами меди, углерода и кислорода. Последующее высокоскоростное охлаждение стали сопровождается расслоением жидкой фазы и формированием поверхностного слоя со структурой ячеистой кристаллизации. Толщина слоя ячеистой кристаллизации составляет ~ 5 мкм. Толщина слоя закаленной стали 45, расположенного на глубине ~ 5 мкм, составляет ~ 7 мкм.

Структура поверхности стали 45, подвергнутой электровзрывному легированию медью и последующему облучению электронным пучком

Электровзрывное легирование приводит к формированию на поверхности обрабатываемого материала тонкого слоя покрытия, формируемого преимущественно капельной фракцией взрывающегося проводни-

ка. Последующая ЭПО, не изменяя элементный состав материала, позволяет преимущественно путем высокоинтенсивного термического воздействия осуществить скоростную гомогенизацию поверхностного слоя.

Эволюция структуры поверхности стали 45, подвергнутой комбинированной обработке в условиях вариации плотности энергии пучка электронов ($E_s = 15-30 \text{ Дж/см}^2$). Методами сканирующей электронной микроскопии установлено, что плавление поверхностного слоя образца фиксируется при плотности энергии пучка электронов $E_s \sim 15 \text{ Дж/см}^2$. Это приводит, с одной стороны, к удалению микрократеров и наплывов меди, формирующих покрытие, с другой стороны, формированию многочисленных капель меди сферической формы, размеры которых изменяются в пределах от 1 до 12 мкм. Последнее свидетельствует о коагуляции покрытия меди, расположенной на поверхности стали. Следует отметить, что данный режим ЭПО не приводит к полному выглаживанию поверхности легирования – в отдельных местах образца сохраняются островки меди.

Обработка поверхности ЭВЛ электронным пучком с плотностью энергии пучка электронов 20-30 Дж/см² сопровождается повсеместным плавлением поверхностного слоя стали – капли и островки меди не наблюдаются.

Высокоскоростная кристаллизация расплава приводит к формированию дендритной структуры. Установлено, что строение дендритов зависит от плотности энергии пучка электронов. При обработке с плотностью энергии пучка электронов 15-20 Дж/см² преимущественно формируется дендритная структура с осями первого порядка (на поверхности облучения наблюдается так называемая структура ячеистой кристаллизации); при большей плотности энергии дендриты имеют оси первого и второго порядка. Очевидно, что строение дендритной структуры определяется скоростью охлаждения расплава. В работе [4] показано, что оси второго порядка не образуются уже при скорости охлаждения, превышающей $\sim 10^6 \text{ К/с}$. При дальнейшем увеличении скорости охлаждения происходит полное вырождение дендритного роста и стабилизация плоского фронта кристаллизации.

Увеличение плотности энергии сопровождается не только изменением морфологии дендритной структуры, но и ростом средних размеров дендритов. Выполненные оценки показывают, что дендриты минимальных средних размеров формируются при обработке поверхности стали электронным пучком с плотностью энергии $E_s = 15 \text{ Дж/см}^2$. Увеличение плотности энергии с 15 до 30 Дж/см² сопровождается ростом средних размеров дендритов с 0,16 до 0,45 мкм, т.е. в ~ 3 раза (рис. 2, кривая 1). Выявленные факты позволяют заключить, что с увеличением плотности энергии пучка электронов в интервале от 15 до 30 Дж/см² наблюдается снижение скорости охлаждения поверхностного слоя стали.

Скорость охлаждения образца оказывает влияние и на средние размеры зерен поверхностного слоя стали. Однако такой явной зависимости, как для элементов дендритной структуры, не наблюдается. Как сле-

дует из анализа результатов, представленных на рис. 2, кривая 2, средний размер зерен в рассмотренном интервале изменения плотности энергии пучка электронов увеличивается незначительно (в $\sim 1,4$ раза). В работе [4] подобное обстоятельство объясняется тем, что размер зерен в закристаллизовавшемся слое зависит не только от скорости охлаждения (величины переохлаждения), но и от числа активных центров зарождения зерен (кристаллитов) в расплаве.

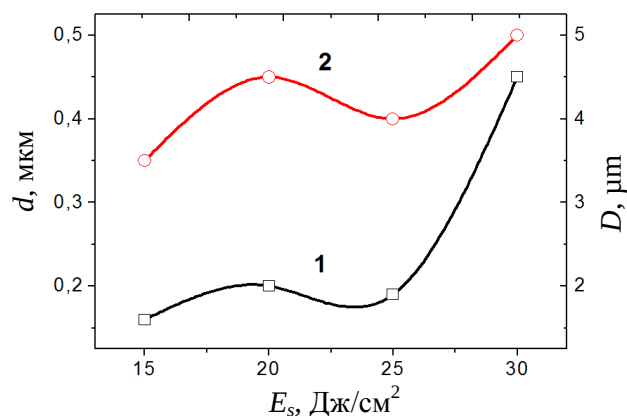


Рис. 2. Зависимость средних размеров дендритов d (кривая 1) и зерен D (кривая 2) от плотности энергии пучка электронов

Электронно-пучковая обработка стали сопровождается формированием на поверхности микротрещин. Причиной этому являются термические напряжения, формирующиеся в поверхностном слое материала вследствие высоких скоростей охлаждения. При плотности энергии пучка электронов $E_s \sim 15 \text{ Дж/см}^2$ трещины располагаются хаотически, количество их незначительно. При больших значениях E_s трещины разбивают поверхность образца на фрагменты, средние размеры которых изменяются в пределах 45-50 мкм и практически не зависят от плотности энергии пучка электронов. Величина плотности энергии пучка электронов сказывается, по-видимому, на глубине микротрещин.

На рис. 3 приведена диаграмма, демонстрирующая изменение концентрации меди в поверхностном слое стали 45, подвергнутой ЭВЛ и последующей ЭПО. Из анализа представленных результатов следует, что в поверхностном слое толщиной 4-5 мкм (толщина слоя стали, подвергающегося анализу) средняя концентрация меди уменьшается от ~ 14 вес. % при плотности энергии пучка электронов $E_s = 15 \text{ Дж/см}^2$ до 5,6 вес. % при $E_s = 30 \text{ Дж/см}^2$. Следует также напомнить, что на поверхности стали, обработанной электронным пучком при $E_s = 15 \text{ Дж/см}^2$, присутствуют капли и островки, концентрация меди в которых может достигать 100 вес. %.

Анализируя результаты, представленные на рис. 3, можно отметить, что высокоскоростная кристаллизация стали, легированной медью, и последующее охлаждение не всегда приводит к закалке поверхностного слоя. Твердость поверхностного слоя стали, не обработанной электронным пучком и обработанной электронным пучком при плотности энергии пуч-

ка электронов $E_s = 15 \text{ Дж/см}^2$, несколько ниже твердости стали 45, закаленной в воде с печного нагрева, и существенно ниже твердости стали, обработанной электронным пучком при плотности энергии пучка электронов $E_s = 20\text{--}30 \text{ Дж/см}^2$. Сопоставляя результаты, представленные на рис. 3 и 4, можно обнаружить связь между концентрацией меди в поверхностном слое стали и величиной микротвердости. А именно высоким значениям концентрации меди соответствуют сравнительно низкие значения микротвердости поверхностного слоя.

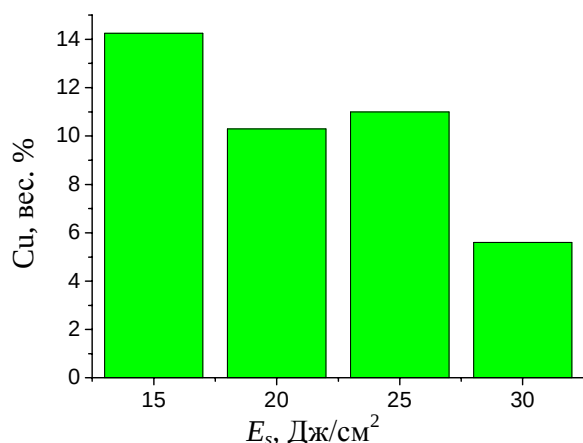


Рис. 3. Диаграмма, демонстрирующая изменение концентрации меди в поверхностном слое стали 45, подвергнутой электровзрывному легированию и последующей электронно-пучковой обработке при различной плотности энергии пучка электронов (50 мкс, 0,3 Гц, 10 имп.)

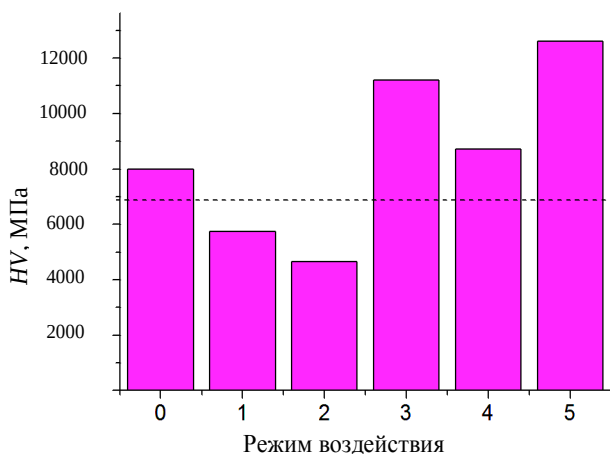


Рис. 4. Микротвердость поверхностного слоя стали 45, подвергнутой различным видам воздействия: 0 – электронно-пучковая обработка (12 Дж/см², 50 мкс, 0,3 Гц, 3 имп.); 1 – электровзрывное легирование медью; 2–5 – электровзрывное легирование медью и последующая электронно-пучковая обработка ($N = 10$ имп., $\tau = 50$ мкс) при $E_s = 15$ (2), 20 (3), 25 (4), 30 (5) Дж/см². Горизонтальной прямой обозначена микротвердость стали 45, закаленной с печного нагрева (850°C, 1,5 ч)

Функциональная зависимость, связывающая концентрацию меди в поверхностном слое и микротвердость поверхности облучения представлена на рис. 5. Отчетливо видно, что микротвердость поверхностного слоя стали снижается с увеличением в нем концентрации меди. Однако линейная корреляция между данными характеристиками стали не выявляется, что может указывать на опосредованное (через изменение параметров структуры и фазового состава) влияние атомов меди на твердость исследуемой стали, формируемой в условиях высокоэнергетического воздействия.

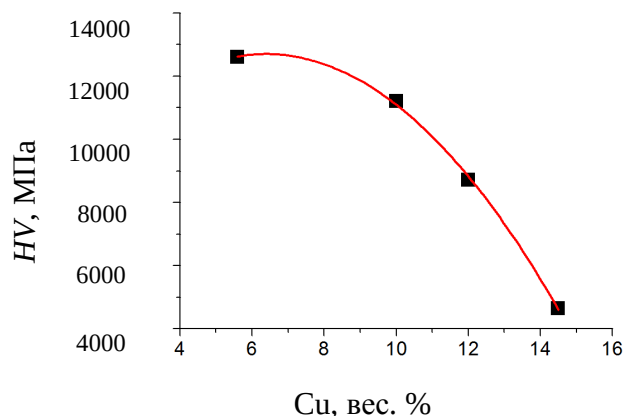


Рис. 5. Зависимость микротвердости поверхности стали 45, подвергнутой комплексной обработке, состоящей в электровзрывном легировании и последующей электронно-пучковой обработке, от концентрации меди в поверхностном слое

Эволюция морфологии поверхности стали 45, подвергнутой комбинированной обработке в условиях вариации количества импульсов воздействия пучка электронов ($N = 5\text{--}50$ имп.). Как было показано выше, обработка поверхности электровзрывного легирования электронным пучком с плотностью энергии пучка электронов 20 Дж/см² и выше сопровождается повсеместным плавлением поверхностного слоя стали. После 5–15 импульсов воздействия пучка электронов островки и наплывы меди, присутствующие на поверхности стали, подвергнутой ЭВЛ, методами сканирующей микроскопии не выявляются. Поверхность образцов стали полностью выглаживается. После 25 импульсов воздействия пучка электронов на поверхности наблюдается большое количество кратеров, которые выявляются и после 50 импульсов воздействия.

Высокоскоростная кристаллизация расплава, как уже отмечалось, приводит к формированию дендритной структуры. Обнаружено, что строение дендритов зависит от количества импульсов воздействия пучка электронов. При количестве импульсов воздействия, изменяющемся в пределах 5–15, на поверхности стали преимущественно формируется дендритная структура с осями первого порядка (наблюдается так называемая структура ячеистой кристаллизации). При большем числе импульсов воздействия пучка электронов (25 и 50 имп.) дендриты преимущественно имеют оси первого и второго порядка.

Строение дендритной структуры, как отмечалось выше, определяется скоростью охлаждения расплава. Следовательно, увеличение количества импульсов воздействия пучка электронов на поверхность образца стали 45 приводит к снижению скорости его охлаждения. Увеличение количества импульсов воздействия пучка электронов практически не оказывает влияния на средние размеры дендритов (рис. 6, кривая 1) и приводит к незначительному росту средних размеров зерен (рис. 6, кривая 2).

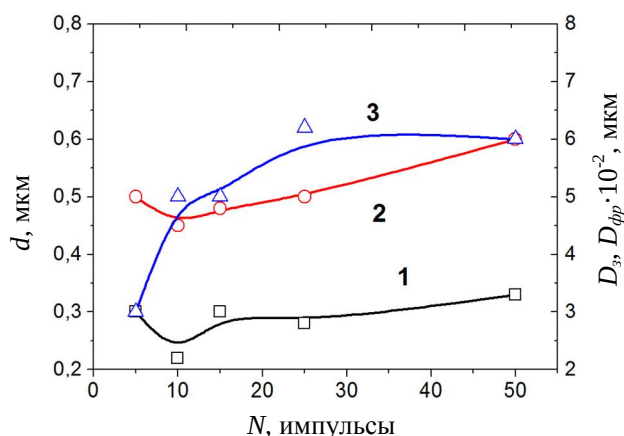


Рис. 6. Зависимость средних размеров дендритов d (кривая 1), зерен D_z (кривая 2) и фрагментов $D_{фр}$ (кривая 3) от количества импульсов воздействия пучка электронов

Электронно-пучковая обработка стали сопровождается, как отмечалось выше, формированием на поверхности облучения образца микротрещин, делящих поверхность образца на фрагменты. Средние размеры фрагментов изменяются в пределах 30-60 мкм и увеличиваются с ростом количества импульсов воздействия пучка электронов (рис. 6, кривая 3). Данный факт подтверждает высказанное выше предположение о снижении скорости охлаждения образцов стали 45 при увеличении количества импульсов облучения. Не смотря на то, что увеличение количества импульсов воздействия пучка электронов приводит к снижению линейной плотности микротрещин (росту средних размеров фрагментов), глубина их, судя по величине раскрытия микротрещин, по-видимому, увеличивается.

На рис. 7 приведена диаграмма, демонстрирующая изменение концентрации меди в поверхностном слое стали 45, подвергнутой ЭВЛ и последующей ЭПО. Из анализа представленных результатов следует, что с увеличением количества импульсов воздействия пучка электронов концентрация меди в поверхностном слое толщиной 4-5 мкм устойчиво возрастает с ~8 вес. % при 5 имп. воздействия до 18 вес. % при 50 имп., т.е. более чем в 2 раза. Можно предположить, что одной из причин выявленного увеличения концентрации меди в поверхностном слое стали является вытеснение атомов меди из приповерхностного объема образца при многократном его плавлении. В металлургии стали данный процесс носит название рафинирования (очистки) расплавов от вредных или нежелатель-

ных элементов (электроннолучевой переплав) [4].

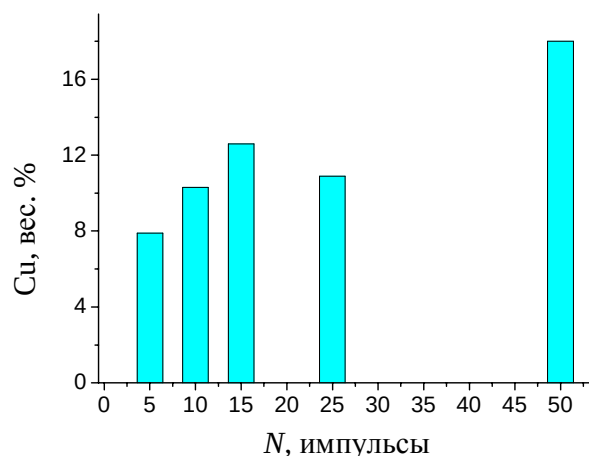


Рис. 7. Диаграмма, демонстрирующая изменение концентрации меди в поверхностном слое стали 45 после электровзрывного легирования и последующей электронно-пучковой обработке при различном количестве импульсов воздействия пучка электронов (20 Дж/см², 50 мкс; 0,3 Гц)

Анализируя результаты, представленные на рис. 8, можно отметить, что высокоскоростная кристаллизация стали, легированной медью, и последующее охлаждение сопровождаются существенным (превышающим в ~1,5 раза твердость стали 45, закаленной с печного нагрева) ростом твердости поверхностного слоя лишь при малых количествах импульсов воздействия пучка электронов (5 и 10 имп.). Дальнейшее увеличение количества импульсов облучения сопровождается существенным снижением твердости поверхностного слоя стали.

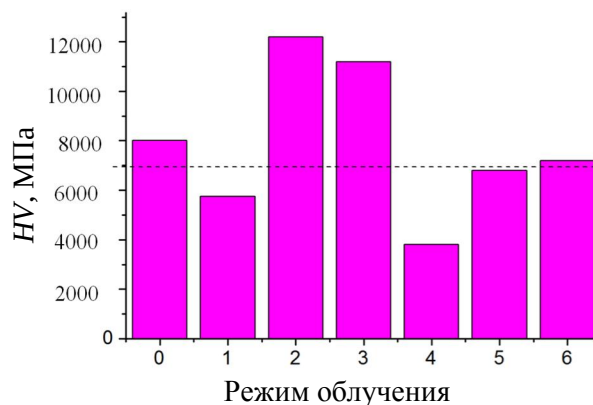


Рис. 8. Микротвердость поверхностного слоя стали 45, подвергнутой различным видам воздействия: 0 – электронно-пучковая обработка (12 Дж/см², 50 мкс, 0,3 Гц, 3 имп.); 1 – электровзрывное легирование медью; 2-6 – электровзрывное легирование медью и последующая электронно-пучковая обработка ($E_s = 20$ Дж/см², $\tau = 50$ мкс, 0,3 Гц) при $N = 5$ (2); 10 (3); 15 (4); 25 (5); 50 (6) импульсов воздействия пучка электронов. Горизонтальной прямой обозначена микротвердость стали 45, закаленной с печного нагрева (850 °C, 1,5 ч)

Сопоставляя результаты, представленные на рис. 7 и 8, можно обнаружить связь между концентрацией меди в поверхностном слое стали и величиной микротвердости. А именно, высоким значениям концентрации меди соответствуют низкие значения микротвердости поверхностного слоя. Однако корреляция между данными характеристиками стали незначительна, что может указывать на опосредованное (через изменение параметров структуры и фазового состава) влияние меди на твердость поверхностного слоя стали 45.

Выводы

1. Электровзрывное меднение стали 45 сопровождается насыщением поверхностного слоя атомами меди, углерода и кислорода. Последующее высокоскоростное охлаждение стали сопровождается расщеплением жидкой фазы и формированием поверхностного слоя со структурой ячеистой кристаллизации. Толщина слоя ячеистой кристаллизации составляет ~5 мкм. Толщина слоя закаленной стали 45, расположенного на глубине ~5 мкм, составляет ~7 мкм.

2. Электронно-пучковая обработка стали сопровождается формированием на поверхности облучения образцов микротрещин, делящих поверхность образца на фрагменты. Средние размеры фрагментов изменяются в пределах 30-60 мкм и увеличиваются с ростом количества импульсов воздействия пучка электронов.

Сведения об авторах

Громов Виктор Евгеньевич – д-р физ.-мат. наук, проф., зав. кафедрой физики ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия. Тел.: (3843) 78-43-66, факс (3843) 46-57-92. E-mail: gromov@physics.sibsiu.ru.

Иванов Юрий Федорович – д-р техн. наук, проф. Института сильноточной электроники СО РАН, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия. Тел.: (3843) 78-43-66. E-mail: yufi55@mail.ru.

Романов Денис Анатольевич – ст. преп. кафедры физики ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия.

Вашук Екатерина Степановна – канд. техн. наук, доц. кафедры физики ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия. Тел.: (3843) 78-43-91, факс (3843) 46-57-92. E-mail: vashuk@bk.ru.

Танг Гоун – проф., директор Института перспективных материалов университета Цинхуа, г. Шэньчжэнь, Китай. E-mail: tanggy@tsinghua.edu.cn

Райков Сергей Валентинович – канд. техн. наук, доц. кафедры физики ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия. Тел.: (3843) 78-43-91, факс (3843) 46-57-92. E-mail: vest2002@mail.ru

Будовских Евгений Александрович – д-р техн. наук, проф. кафедры физики ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия. Тел. (3843) 78-43-91, факс (3843) 46-57-92. E-mail: budovskih_ea@physics.sibsiu.ru

Сонг Гуолин – доц., зав. лабораторией Института перспективных материалов университета Цинхуа, г. Шэньчжэнь, Китай. E-mail: tanggy@tsinghua.edu.cn.

3. С увеличением количества импульсов воздействия пучка электронов концентрация меди в поверхностном слое толщиной 4-5 мкм устойчиво возрастает с ~8 вес. % при 5 имп. воздействия до 18 вес % при 50 имп., т.е. более чем в 2 раза.

4. Высокоскоростная кристаллизация стали, легированной медью, и последующее охлаждение сопровождаются существенным (превышающим в ~1,5 раза твердость стали 45, закаленной с печного нагрева) ростом твердости поверхностного слоя лишь при малых количествах импульсов воздействия пучка электронов (5 и 10 имп.). Дальнейшее увеличение количества импульсов облучения сопровождается существенным снижением твердости поверхностного слоя стали.

Список литературы

1. Физические основы электровзрывного легирования металлов и сплавов / А.Я. Багаутдинов, Е.А. Будовских, Ю.Ф. Иванов, В.Е. Громов. Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2007. 301 с.
2. Иванов Ю.Ф., Коваль Н.Н. Низкоэнергетические электронные пучки субмиллисекундной длительности: получение и некоторые аспекты применения в области материаловедения // Структура и свойства перспективных металлических материалов / под общ. ред. А.И. Потеева. Томск: Изд-во НТЛ, 2007. С. 345-382.
3. Электронно-пучковая модификация поверхности сталей и твердых сплавов / Григорьев С.В., Коваль Н.Н., Иванов Ю.Ф., Девятков В.Н., Тересов А.Д., Колубаева Ю.А. // Плазменная эмиссионная электроника: труды II междунар. крайиндустриального семинара, 17-24 июня 2006 г. Улан-Удэ, 2006. С. 113-120.
4. Мирошниченко И.С. Закалка из жидкого состояния. М.: Металлургия, 1982. 168 с.
5. Бигеев А.М. Металлургия стали. Теория и технология плавки стали. М.: Металлургия, 1977. 440 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

CHARACTERISTICS OF ELECTROEXPLOSIVE COPPER PLATING OF STEEL 45 AND SUBSEQUENT ELECTRON-BEAM PROCESSING

Gromov Victor Evgenievich – D.Sc. (Phys.-Math.), Professor Department of physics, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia. Phone: (3843) 78-43-66, fax: (3843) 46-57-92. E-mail: gromov@physics.sibsiu.ru.

Ivanov Yuriy Fedorovich – D.Sc. (Eng.), Professor Department of Nanomaterials and Nanotechnology, National Research Tomsk Polytechnic University, Institute of high-current electronics SB RAS, Tomsk, Russia. Phone: (3843) 78-43-66. E-mail: yufi55@mail.ru.

Romanov Denis Anatolievich – Assistant Professor, Department of physics, Siberian State Industrial University.

Vaschuk Ekaterina Stepanovna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor Department of physics, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia. Phone: (3843) 78-43-91, fax: (3843) 46-57-92. E-mail: vaschuk@bk.ru.

Tang Guoyi – Professor, Director Advanced Materials Institute, Graduate School at Shenzhen, Tsinghua University, Shenzhen, China. E-mail: tanggy@tsinghua.edu.cn

Raykov Sergey Valentinovich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor Department of physics, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia. Phone: (3843) 78-43-91, fax: (3843) 46-57-92. E-mail: vest2002@mail.ru

Budovskikh Evgeniy Aleksandrovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Department of physics, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia. Phone: (3843) 78-43-91, fax: (3843) 46-57-92. E-mail: budovskih_ea@physics.sibsiu.ru.

Song Guolin – Associate Professor, Chief of laboratory, Advanced Materials Institute, Graduate School at Shenzhen, Tsinghua University, Shenzhen, China. E-mail: tanggy@tsinghua.edu.cn.

Abstract. The surface relief and structure peculiarities of steel 45 after electroexplosive copper plating and subsequent electron beam treatment were investigated by scanning and transmission electron microscopy methods. It has been established that the copper concentration in surface layer is increased in 2 times with the growth of electron beam pulses number. The high speed crystallization of modified layer is accompanied by hardness growth of surface layer under the small pulse number (5 and 10 pls.). The further increase of irradiation pulses number leads to essential decrease of surface layer hardness.

Keywords: electroexplosive alloying, copper, electron beam processing, structure, phase composition, properties.

References

1. Bagautdinov A.Ya., Budovskikh Ye.A., Ivanov Yu. F., Gromov V.Ye. *The*

physical basis of electroexplosive alloying of metals and alloys. Novokuznetsk: SibSIU, Publ. House, 2007, 301 p.

2. Ivanov Yu.F., Koval N.N. Low-energy electron beams submillisecond duration: production and some aspects of application in the field of materials science. *The structure and properties of advanced metallic materials.* Ed. A.I. Potekayev. Tomsk: Publ. House NTL, 2007, pp. 345-382.
3. Grigoriev S.V., Koval N.N., Ivanov Yu.F., et al. Electron beam modification of the surface of steel and hard alloys. *Plasma emission electronics*, Proceedings of II International kreyndelevsky seminar. Ulan-Ude, 2006, pp. 113-120.
4. Miroshnichenko I.S. *Hardening from the liquid state.* Moscow: Metallurgy, 1982, 168 p.
5. Bigeyev A.M., *Metallurgy of the steel. Theory and technology of melting steel.* Moscow: Metallurgy, 1977, 440 p.

УДК 621.774.372

Окулов Р.А., Паршин С.В.

ЗНАЧЕНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОТИВОНАТЯЖЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ВОЛОЧЕНИЯ ПРОФИЛЬНЫХ ТРУБ

Аннотация. Работа посвящена актуальной задаче – изучению зависимости геометрии получаемой продукции и энергосиловых параметров процесса волочения от применения усилия противонапряжения. Работа выполнена с помощью программного обеспечения, использующего конечно-элементный метод, и затем проверена проведением практического эксперимента. Результаты теоретической и практической частей хорошо согласуются. В результате проделанной работы определены искомые зависимости и даны ценные рекомендации производителям.

Ключевые слова: волочение, противонапряжение, сталь 12Х18Н10Т, профильная труба.

При производстве трубной продукции актуальным остается вопрос о предсказании конечной формы получаемой продукции еще на стадии проектирования процесса и то, как влияет на ход процесса различные факторы. Предшественниками выполнена большая работа по установлению зависимостей, которые в той или иной мере могли бы пролить свет на существующий вопрос. В работе [1] было проведено основополагающее изучение процесса, а в работе [2] были более подробно рассмотрены задачи при производстве профильной трубной продукции. Но, несмотря на проделанный массив исследовательской работы, до сих пор остается открытым и не изученным в должной мере вопрос о влиянии различных факторов на качество геометрии и энергосиловые показатели процесса волочения.

В данной работе ставится актуальная задача – определить, как зависит форма трубы и энергосиловые характеристики самого процесса производства при волочении профильных труб от применения усилия противонапряжения. Ответ на этот вопрос позволит дать ценные рекомендации производителям данной продукции и поможет избежать ряд нежелательных последствий. Определив характер зависимости, мож-

но будет предсказывать на стадии проектирования процесса производства его результат.

Исследование роли противонапряжения выполнили с использованием программного обеспечения с целью определения искомых величин. Для определения интересующих параметров труб, как в работе [3], воспользовались программным пакетом DEFORM-3D, который использует в процессе расчета конечно-элементное моделирование.

Определили влияние применения противонапряжения на ряд параметров. Среди изученных параметров можно выделить две группы: связанные с геометрией конечного продукта и связанные с энергосиловыми показателями самой операции производства. Среди геометрических параметров исследовали толщины стенки в центре грани, наружный прогиб граней, площадь поперечного сечения после обработки, вытяжку, наружный и внутренний радиусы незаполнения. Исследуемые геометрические параметры представлены на рис. 1. Среди энергосиловых параметров процесса изучили усилие волочения, работу усилия волочения, единицу массы смещаемого материала, энергоемкость волочения.

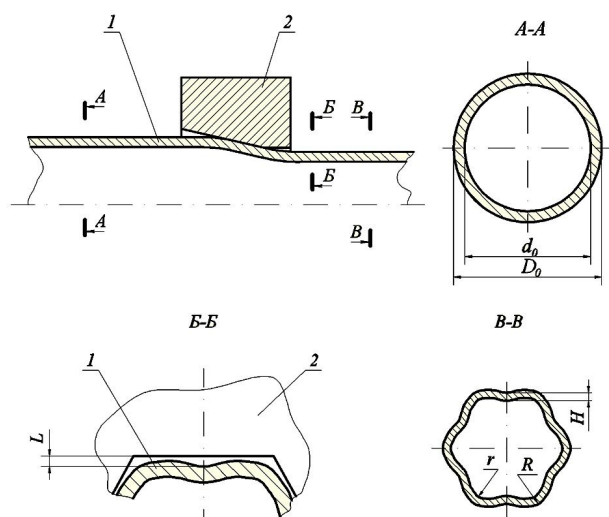


Рис. 1. Схема процесса профилирования трубы:

1 – обрабатываемая труба; 2 – волочильная фильера;
 D_0, d_0 – наружный и внутренний диаметры заготовки;
 L – наружный прогиб грани трубы; H – толщина стенки грани; R, r – наружный и внутренний радиусы незаполнения

За исследуемый процесс обработки приняли холодное безоправочное волочение профильной трубы из заготовки круглого сечения. После обработки поперечное сечение трубы принимает форму шестигранника с размером «под ключ» 10 мм (диаметр вписанной окружности шестигранника). Скорость волочения 100 мм/с. Заготовка представляет собой круглую бесшовную холоднодеформированную трубу наружным диаметром D 12 мм, толщиной стенки S 1 мм.

Для получения интересующего профиля трубы заготовку круглого сечения протягивали в один переход через рабочий инструмент. Рабочий инструмент представляет собой волочильную фильеру с обжимным участком в виде усеченной пирамиды. Угол наклона рабочей поверхности волоки составляет 6° , радиус скругления перехода от рабочего участка волоки к калибрующему – 1 мм, величина калибрующего участка равна 10,2 мм. Размер элемента сетки разбienia равняется 0,14 мм. Коэффициент трения по Амонтону-Кулону приняли 0,1. Материал заготовки – коррозионно-стойкая сталь 12Х18Н10Т. Труба изготовлена в соответствии с ГОСТ 9941, материал – по ГОСТ 5632.

Закон упрочнения для материала задали формулой [4]

$$\sigma = \sigma_{0,2} + g\Lambda^b,$$

где $\sigma_{0,2}$ – условный предел текучести; g и b – эмпирические коэффициенты.

Для стали 12Х18Н10Т: $\sigma_{0,2} = 321,7$ МПа;

$g = 813,4$ МПа и $b = 0,405$.

Для определения зависимости изучаемых параметров требовалось определить усилие волочения без применения противонапряжения. С этой целью был проведен математический эксперимент, в результате которого установлено, что средняя величина усилия волочения при установившемся процессе из пяти параллельно проведенных экспериментов составляет 4655 Н.

После определения величины волочения рассчитали процент от нее, который варьировался от 10 до 90% с шагом в 10%. Полученный ряд усилий приложили к заготовке по направлению, противоположному направлению волочения, и затем установили зависимости исследуемых параметров от процента приложенной нагрузки, после чего построили графики.

Искомые параметры разделили на две группы: связанные с геометрией конечного продукта и связанные с энергосиловыми показателями самой операции волочения.

Предметом исследования геометрических параметров формы труб являлись: H – толщина стенки в центре грани, мм; L – наружный прогиб граней, мм; R – наружный радиус незаполнения, мм; r – внутренний радиус незаполнения, мм; S_a – площадь поперечного сечения после обработки, мм²; μ – вытяжка, рассчитывается по формуле

$$\mu = \frac{S_0}{S_a},$$

где S_0 – площадь поперечного сечения заготовки до обработки, мм²;

$$S_0 = (D_0^2 - d_0^2) \frac{\pi}{4}.$$

Предметами исследования энергосиловых параметров процесса обработки труб являлись: P – усилие волочения, Н; W – работа усилия волочения, Дж; m – единица массы смещаемого материала, кг; E – энергоемкость процесса волочения, Дж/кг. Численное значение величины энергоемкости определяют [5]

$$E = \frac{W}{m}.$$

Работа усилия волочения определена как

$$W = Pl\mu,$$

где l – единица перемещения при установившемся процессе, м.

Единица массы смещаемого материала определена

$$m = (S_0 - S_a) l \rho,$$

где ρ – плотность обрабатываемого материала, кг/м³.

Для того чтобы данные, получаемые в результате проведения математического эксперимента, были более точными, были найдены средние значения пяти параллельно проведенных экспериментов.

Результаты усреднены и на их основании построены зависимости (рис. 2-5). На рис. 2 представлена зависимость толщины стенки H от приложенной нагрузки. Зависимость обратная – с ростом усилия противонапряжения толщина стенки H увеличивается. Как видно из графика, зависимость линейная и может быть описана уравнением

$$y = a + bx. \quad (1)$$

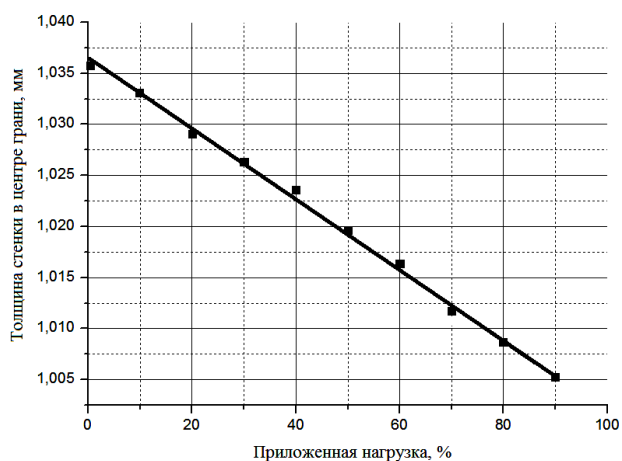


Рис. 2. График изменения толщины стенки

На наружный прогиб стенки трубы в центре грани L прилагаемая нагрузка фактически не влияет. Угол наклона к оси абсцисс стремится к нулю. Можно сделать вывод о том, что величина прогиба L постоянна и составляет 0,09 мм. Зависимость также линейная и описывается формулой (1).

Величина площади поперечного сечения после обработки S_a убывает по линейной зависимости и может быть также описана формулой (1). Следовательно, зависимость вытяжки μ обладает прямой линейной зависимостью и описывается формулой (1), что показано на рис. 3.

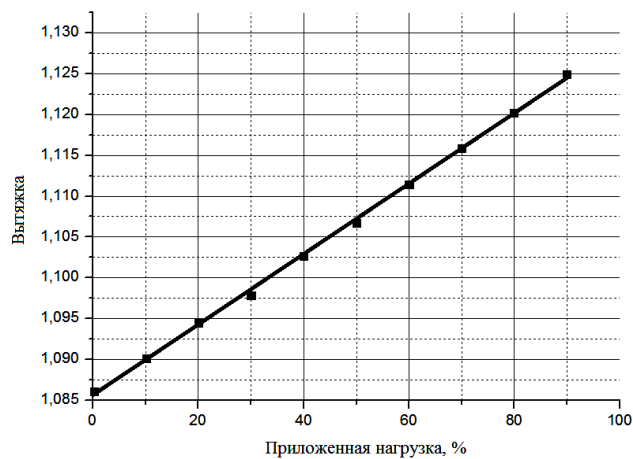


Рис. 3. Изменение вытяжки

Зависимости наружного R и внутреннего r радиусов незаполнения представлены на рис. 4 и 5 соответственно. Как видно, обе зависимости прямые и линейные, следовательно, могут быть описаны формулой (1).

Как видно на рис. 6, с ростом величины приложенной нагрузки усилие волочения P возрастает по прямой линейной зависимости, следовательно, аналогичная зависимость работы усилия волочения W . Зависимости описываются формулой (1).

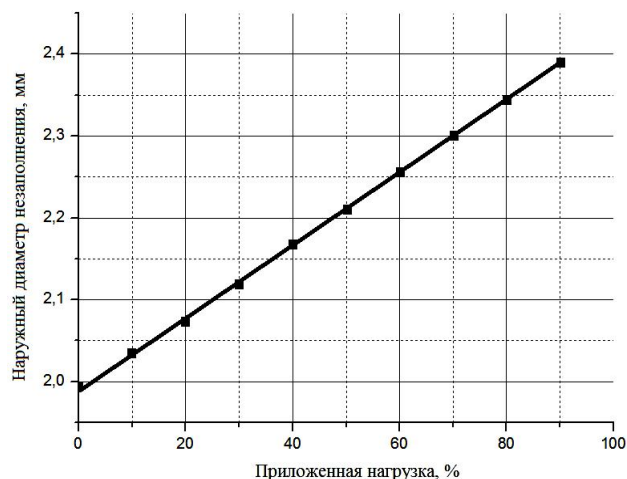


Рис. 4. График зависимости наружного радиуса

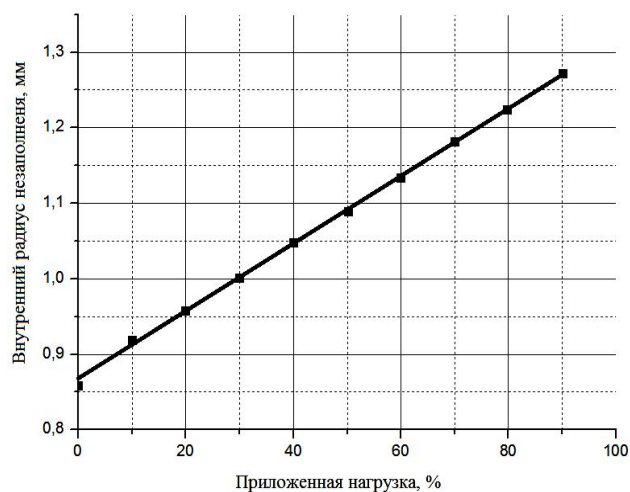


Рис. 5. График зависимости внутреннего радиуса незаполнения

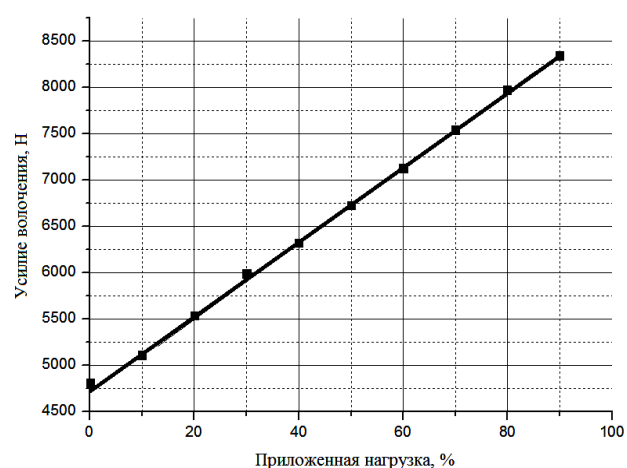


Рис. 6. Зависимость усилия волочения

Смещаемая масса на погонный метр m увеличивается с ростом величины приложенной нагрузки

Таблица 2

Сравнение теоретических и практических данных

Параметр	Значение		Отклонение, %	
	теоретическое	практическое	относительное	абсолютное
H , мм	1,037	1,04	1,003	0,288
L , мм	0,093	0,09	0,968	-3,333
S , мм ²	31,81	31,85	1,001	0,126
μ	1,0863	1,085	0,999	-0,120
R , мм	1,922	1,91	0,994	-0,628
r , мм	0,896	0,87	0,971	-2,989
P , Н	4655	4724	1,015	1,461
W , Дж	5057	5126	1,014	1,335
m , кг	2,344	2,263	0,965	-3,579
E , Дж/кг	2158	2265	1,050	4,758

Заключение

В результате выполненной работы было установлено влияние использования противонапряжения на форму труб и энергосиловые параметры процесса. Было продемонстрировано, по какой зависимости изменяются исследуемые параметры от величины приложенной нагрузки.

Проведена экспериментальная проверка предложенного математического эксперимента. Статистическая обработка результатов не выявила значимых различий в расчетных и экспериментальных данных.

В итоге исследования можно сделать вывод: применение противонапряжения оказывает отрицательное влияние на качество геометрических параметров обрабатываемой профильной трубы. Наружный и внутренний радиусы незаполнения с ростом приложенной нагрузки становятся больше, что негативно сказывается на качестве выпускаемой продукции. Кроме того, применение противонапряжения является экономически нецелесообразно, с точки зрения энергетических затрат.

Рекомендуется не применять противонапряжение при производстве профильных труб, поскольку оно оказывает отрицательное воздействие на качество продукции и повышает энергоёмкость процесса, что удорожает процесс.

Список литературы

1. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения. 2-е изд. М.: Металлургия, 1971. 448 с.
2. Данченко В.Н., Сергеев В.В., Никулин Э.В. Производство профильных труб. М.: Интермет Инжиниринг, 2003. 224 с.
3. Некоторые технологические возможности роликового волочения труб / Орлов Г.А., Вагапов Е.Н., Чернышов Д.Ю., Попов Д.А. // Производство проката. 2012. №4. С. 28-31.
4. Богатов А.А., Мижирицкий О.И., Смирнов С.В. М. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением. М.: Металлургия, 1984. 144 с.
5. Окулов Р.А., Паршин В.С., Карамышев А.П. Энергоёмкость обработки заклепочной проволоки из дюралюминия волочением и радиальным обжатием // Вестник машиностроения. 2012. №9. С. 80-81.

по линейной зависимости, которая описана формулой (1). Энергоёмкость процесса вытягивания на погонный метр E с ростом величины приложенной нагрузки возрастает по линейной зависимости, которая также описывается формулой (1), что видно на рис. 7.

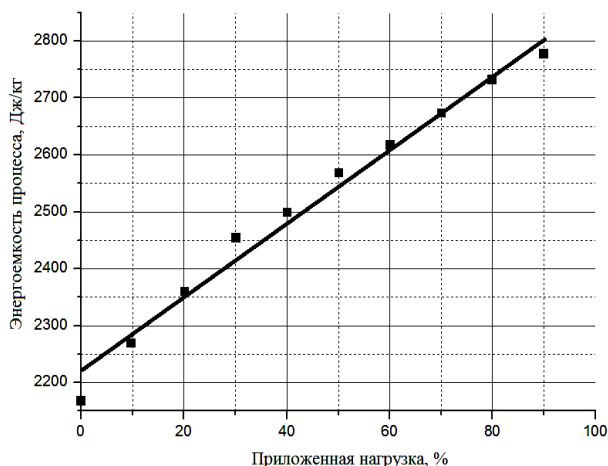


Рис. 7. Зависимость энергоёмкости процесса

Коэффициенты a и b формулы (1) по результатам исследования представлены в табл. 1.

После теоретического эксперимента провели практический. За параметры исследуемого процесса приняли те же, что при постановке теоретического эксперимента. Волочили трубу без применения противонапряжения.

Коэффициенты a и b формулы (1)

Козф-фициент	H , мм	L , мм	S_a , мм ²	μ	R , мм	r , мм	P , кН	W , кДж	m , кг	E , кДж/кг
Сталь 12Х18Н10Т										
a	1,037	0,093	31,8	1,086	1,92	0,9	4,65	5,06	2,34	2,2
b	-0,000	0,00	-0,012	0,000	0,006	0,004	0,04	0,05	0,01	0,02

В результате эксперимента были измерены геометрические параметры обработанной трубы и энергосиловые параметры процесса, а затем сравнены с результатами теоретической работы. Результаты сравнительного анализа представлены в табл. 2.

Результаты теоретического и практического эксперимента сходятся в допустимых пределах отклонений. Таким образом, можно сделать вывод о том, что теоретическая часть исследования соответствует реальному процессу.

Сведения об авторах

Окулов Роман Александрович — аспирант кафедры «Металлургические и роторные машины» ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия. E-mail: okulov.roman@gmail.com.

Паршин Сергей Владимирович — д-р техн. наук, проф. кафедры «Металлургические и роторные машины» ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия. E-mail: netskater@mail.ru.

THE SIGNIFICANCE OF THE BACK TENSION USAGE IN CROSS-SECTIONAL TUBE DRAWING PROCESS

Okulov Roman Alexandrovich – Postgraduate Student, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia. E-mail: okulov.roman@gmail.com.

Parshin Sergei Vladimirovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia. E-mail: netskater@mail.ru.

Abstract. The article is devoted to the problem of current interest that is the study of resulting products geometry and power parameters of the drawing process dependence on the use of back tension force. The work was performed by the software using the finite element method and was practically experimented. The results of theoretical and practical parts are in good agreement. As a result of this work the required dependencies have been defined and valuable recommendations to producers have been given.

Keywords: drawing, back tension, steel X6CrNiTi18-10, cross-sectional tube.

References

1. Perlin I.L., Ermanok M.Z. *The theory of drawing*. Moscow, 1971, 448 p.
2. Danchenko V.N., Sergeev V.V., Nikulin E.V. *Production of shaped pipes*. Moscow: Intermet Engineering, 2003, 224 p.
3. Orlov G.A., Vagapov E.N., Chernyshev D.U., Popov D.A. Some of the technological capabilities of the roller tube drawing. *Production of steel*. 2012, no. 4, pp. 28-31.
4. Bogatov A.A., Mizhiritsky O.I., Smirnov S.V. *Resource ductility metal processing pressure*. Moscow: Metallurgy, 1984, 144 p.
5. Okulov R.A., Parshin V.S., Karamyshev A.P. Energy intensity of treatment rivet wire drawing of duralumin and radial compression. *Bulletin of mechanical engineering*. 2012, no. 9, pp. 80-81.

УДК 621.98

Хамедон З., Мори К., Маено Т., Ямашита Ю.

ГОРЯЧАЯ ШТАМПОВКА ЛИСТА ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОГО НАГРЕВА

Аннотация. Процесс горячей штамповки листа из титанового сплава с использованием электроконтактного нагрева был разработан с целью повышения производительности. Использование данного процесса позволило не только снизить нагрузку при деформации металла, но и получать требуемую конфигурацию детали при высоких температурах.

Было установлено, что с увеличением температуры нагрева заготовки уменьшается упругое последствие в штампованной детали. Несмотря на то, что игольчатый мартенсит образуется при нагреве в печи до 1050°C, микроструктура при электроконтактном нагреве до 880°C была аналогична ранее получаемой структуре. При электроконтактном нагреве до 880°C твердость увеличилась до 370 HV20.

Также установлено, что горячая листовая штамповка с помощью электроконтактного нагрева заготовки из титанового сплава, используемая для получения изделий цилиндрической формы, позволяет повысить производительность всего процесса.

Ключевые слова: листовая заготовка из титанового сплава, Ti-6Al-4V, горячая штамповка, электроконтактный нагрев, упругое последствие.

Введение

Все чаще используют листовые заготовки из титанового сплава для изготовления деталей самолета благодаря их повышенной прочности при высоких температурах, низкой плотности, высокой коррозионной стойкости и т.д. Так как листовой заготовке из титанового сплава свойственна пониженная пластичность в холодном состоянии, а следовательно, пониженная штампуемость, то целесообразно осуществлять горячую листовую штамповку. При использовании стандартной печи для нагрева заготовок перед горячей штамповкой имеет место низкая производительность процесса. Время нагрева инструмента составляет около 2 ч, а время нагрева листов в печи и время штамповки – несколько минут.

Быстрый электроконтактный нагрев является прогрессивным способом и обычно применяется для предварительного нагрева заготовок перед штамповкой. Время электроконтактного нагрева до температуры 900°C составляет 2 с. Мори и др. применили электроконтактный нагрев при теплой и горячей

штамповке сверхвысокопрочных стальных листов [1], при литье и закалке при горячей штамповке для получения деталей из сверхвысокопрочных сталей с равномерно распределенными прочностными характеристиками [2] и соответственно при штамповке стержня шестерни из сверхвысокопрочной стали [3].

Кроме того, Мори с соавторами [4] разработал процесс пробивки сверхпрочных стальных листов с использованием локального электроконтактного нагрева двигающейся зоны. Ранее выполненные исследования Озтурком с соавторами [5] применения электроконтактного нагрева при горячей штамповке листов из титанового сплава не показали существенных положительных результатов.

В настоящем исследовании процесс горячей штамповки листа из титанового сплава с помощью электроконтактного нагрева был осуществлен для того, чтобы увеличить пластичность металла и снизить нагрузку при деформации. Выполнена оценка упругого последствия и определена твердость на отштампованном нагретом листе.

1. Процесс горячей штамповки листа из титанового сплава

1.1 Эксперимент

Лист из альфа-бета титанового сплава Ti-6Al-4V (Al – 6,0%, V – 4,0%, Fe – 0,4%, O – 0,2%, C – 0,08%, N – 0,05%, H – 0,015%), имеющего толщину 1,2 мм, был отштампован при высоких температурах. Механические свойства титанового листа были определены при испытании на одноосное растяжение при различных температурах нагрева. В качестве универсального инструмента при испытании на растяжение были использованы тиски с рабочей нагрузкой 50 кН.

По результатам испытаний получены зависимости значений временного сопротивления разрыву и относительного удлинения от температуры нагрева заготовки из титанового сплава (рис. 1). При увеличении температуры нагрева, особенно выше 560°C, временное сопротивление разрыву уменьшается, а относительное удлинение возрастает.

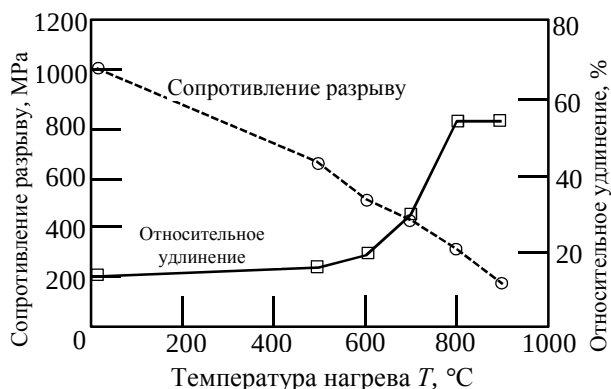


Рис. 1. Зависимости значений временного сопротивления разрыву и относительного удлинения, полученных при испытании на растяжение, от температуры нагрева заготовки из титанового сплава

Горячая штамповка деталей с цилиндрическими элементами с использованием электроконтактного нагрева показана на рис. 2. Нагрев листовой заготовки размерами 130 × 20 мм осуществляли на локальных участках: шириной 5 мм от каждого края. Во время электроконтактного нагрева исключался контакт с матрицей, перфоратором для пробивки отверстий и держателем заготовки во избежание их нагрева.

При испытаниях использовали листогибочный пресс CNC с максимальной допустимой нагрузкой 800 кН. Временной интервал между окончанием нагрева и началом деформации составляет всего 0,2 с. Условия эксперимента приведены в таблице.

Экспериментальные условия при горячей штамповке

Давление на держатель листа, МПа	0,6				
Давление на зажим электрода	4				
Время выдержки в нижней «мертвой» точке t , с	0; 3; 6				
Скорость гибки, мм/с	150				
Плотность тока, А/мм ²	12,5				
Температура нагрева T , °C	370	550	690	790	880
Время нагрева t_h , с	2.8	4.9	6.1	7.3	8.0

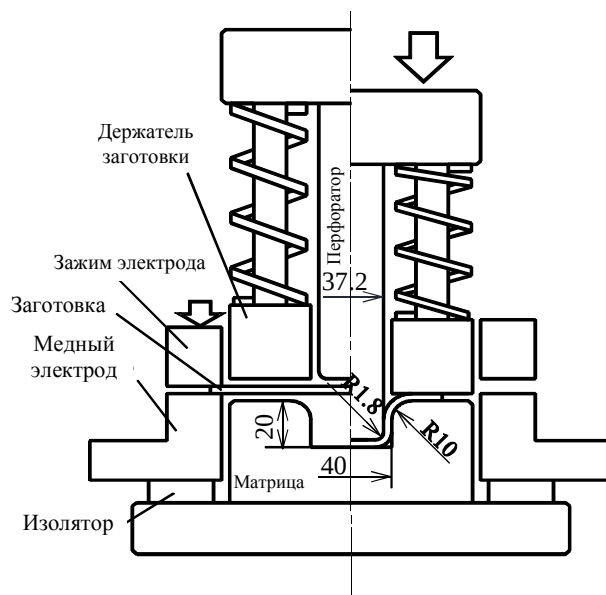


Рис. 2. Горячая штамповка листа из титанового сплава с использованием электроконтактного нагрева

1.2. Особенности нагрева листовой заготовки

Зависимость электрического сопротивления листовой заготовки из титанового сплава от температуры нагрева показана на рис. 3. Изменение удельного электрического сопротивления для заготовки из титанового сплава относительно небольшое, по сравнению с заготовкой из стали. Очень сложно равномерно нагревать лист для поддержания постоянного сопротивления. Увеличение сопротивления, вызванное повышением температуры в локальных участках, приводит к уменьшению силы тока и, следовательно, увеличению температуры на этих участках.

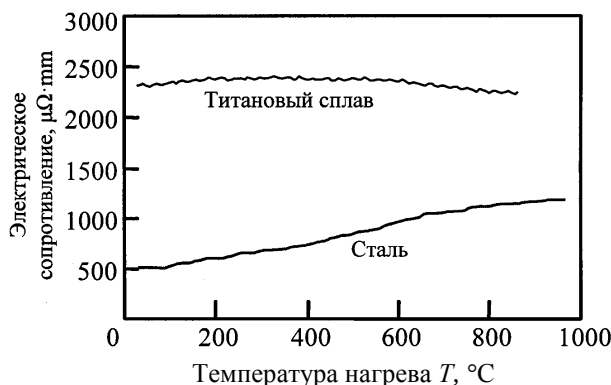


Рис. 3. Зависимость электрического сопротивления от температуры нагрева листовых заготовок из титанового сплава и стали

Распределение значений температуры при электроконтактном нагреве в продольном направлении заготовки из титанового сплава показано на рис. 4. Температура нагрева в зоне деформации почти равномерна, тогда как оба края листа недо-

статочно нагреваются при контакте с электродами.

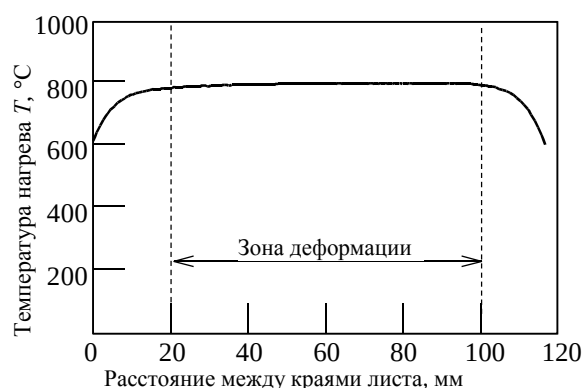


Рис. 4. Распределение значений температуры по длине заготовки из титанового сплава

2. Результаты горячей штамповки листа из титанового сплава при электроконтактном нагреве

2.1. Штампованные листовые заготовки

Штампованные детали с цилиндрическими элементами с использованием электроконтактного нагрева до $T = 880^\circ\text{C}$ сравнили с штампованными деталями с использованием нагрева в печи (рис. 5). При нагреве заготовки в печи наблюдается увеличение упругого последствия металла и значительная степень окисления поверхности штампованной заготовки, а при использовании электроконтактного нагрева эти явления незначительны.

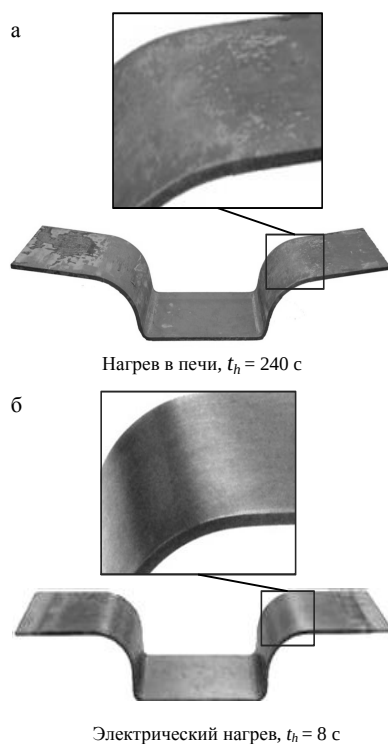


Рис. 5. Сравнение штампованных деталей при нагреве в печи и при электрическом нагреве до $T = 880^\circ\text{C}$ и $t = 3$ с

Для обнаружения наличия трещин в деталях с цилиндрическими элементами был использован метод неразрушающего флуоресцентного проникающего контроля. Полученные результаты представлены на рис. 6.

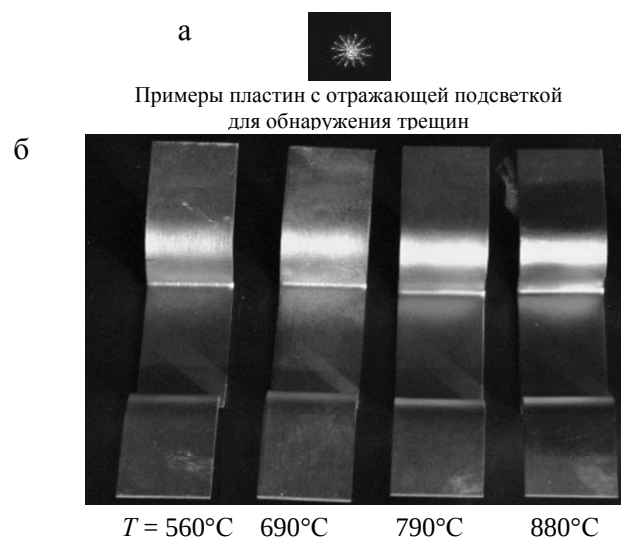


Рис. 6. Штампованные детали во время неразрушающего флуоресцентного проникающего контроля при $t = 3$ с

2.2. Усилие штамповки и упругое последствие

На рис. 7 представлены зависимости усилия штамповки от температуры нагрева заготовки. При комнатной температуре происходит разрушение заготовки при деформации, а при температурах выше 370°C имеет место штамповка без нарушения сплошности металла. По мере увеличения температуры снижается требуемая нагрузка при штамповке. При $T = 880^\circ\text{C}$ нагрузка снизилась с 6,5 (при комнатной температуре) до 1,8 кН.

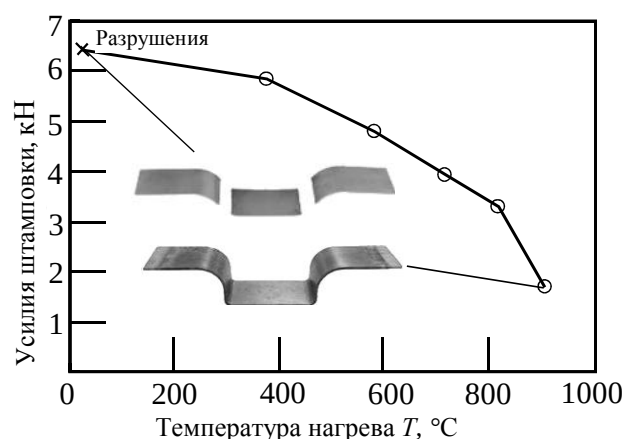


Рис. 7. Зависимость усилия штамповки от температуры нагрева при $t = 3$ с

Зависимости угла пружинения от температуры нагрева и радиуса изгиба металла при штамповке де-

тали с цилиндрическими элементами представлены на **рис. 8**. С увеличением температуры нагрева угол пружинения и радиус изгиба уменьшаются. Таким образом, горячая листовая штамповка является эффективным способом предотвращения упругого последствия при формоизменении листовой заготовки из титанового сплава.

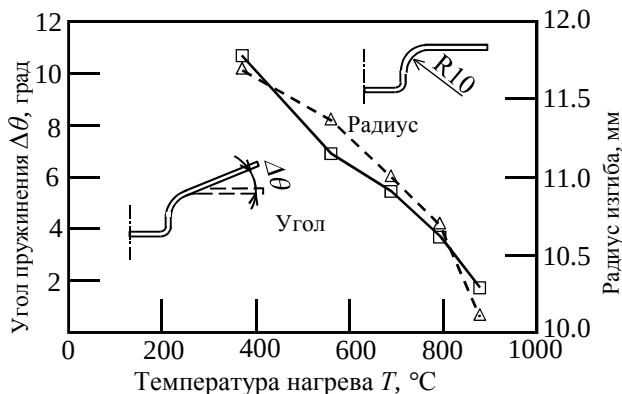


Рис. 8. Зависимости угла пружинения от температуры нагрева и радиуса изгиба металла при штамповке детали с цилиндрическими элементами при $t = 3$ с

Зависимости угла пружинения и радиуса изгиба листовой заготовки от времени выдержки в нижней «мертвой» точке при $T = 880^\circ\text{C}$ показаны на **рис. 9**. При увеличении времени выдержки угол пружинения и радиус изгиба уменьшаются.

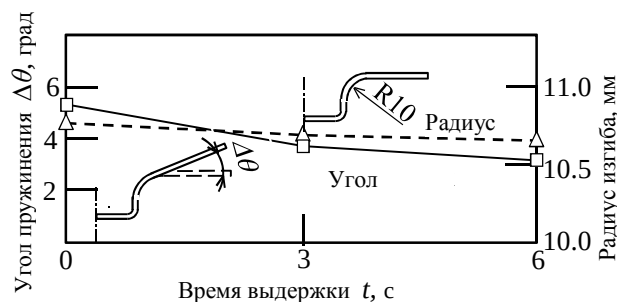


Рис. 9. Зависимости угла пружинения и радиуса изгиба листовой заготовки от времени выдержки в нижней «мертвой» точке при $T = 880^\circ\text{C}$

2.3. Микроструктура и твердость, полученные при горячей штамповке детали

Микроструктуры формоизменяемого листа при различных температурах нагрева показаны на **рис. 10**. Несмотря на то, что игольчатый мартенсит, имеющий низкую прочность, образуется при нагреве в печи при $T = 1050^\circ\text{C}$, микроструктура при электроконтактном нагреве при $T = 880^\circ\text{C}$ была аналогична ранее получаемой структуре.

Распределение твердости по Виккерсу в продольном направлении детали при различных температурах нагрева показаны на **рис. 11**. При температурах 550 и 785°C значения твердости почти совпадают. Когда температуру нагрева увеличили до 880°C , твердость

возросла до 370 HV20.

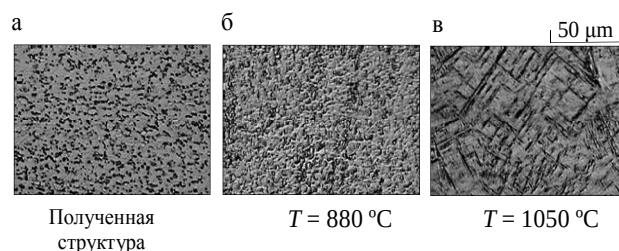


Рис. 10. Микроструктуры формоизменяемого листа при различных температурах нагрева

Таким образом, рациональной является температура нагрева $T = 880^\circ\text{C}$ благодаря небольшому упругому последствию, высокой твердости и отсутствию игольчатого мартенсита.

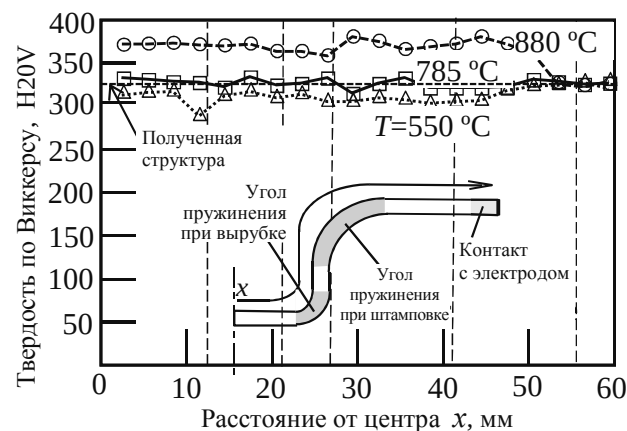


Рис. 11. Распределение твердости по Виккерсу в продольном направлении при различных температурах нагрева

3. Электроконтактный нагрев формоизмененных листов

В производственных условиях возможно осуществлять горячую штамповку уже формоизмененных листов. Для них распределение плотности тока при нагреве является неоднородным, как показано на **рис. 12, а**, таким образом, и распределение температуры будет неоднородным. Чтобы получить равномерное распределение температуры, электроды наклоняют, как показано на **рис. 12, б**.

Для оценки распределения температуры нагрева в формоизмененной заготовке при установленных параллельных и наклонных электродах был применен двойной электротермический анализ электрического нагрева, который проводился с использованием коммерческого программного обеспечения FEM ANSYS. При расчете предполагалось, что контакт между листом и электродом будет однородным. При установке электродов параллельно распределение температуры было неравномерным, как показано на **рис. 13, а**, а при установке электродов под углом наклона 7° распределение температуры в зоне изгиба почти однородно и составило $825 \pm 20^\circ\text{C}$, как показано на **рис. 13, б**.

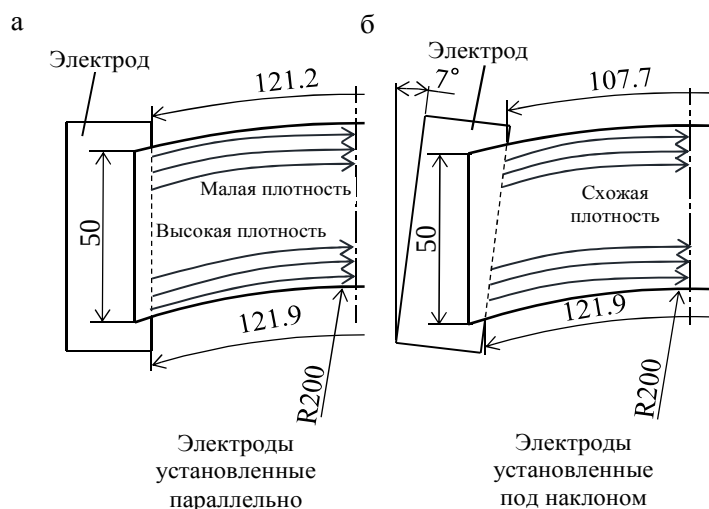


Рис. 12. Распределение плотности тока в формоизмененной заготовке при установке электродов параллельно и под углом наклона 7°

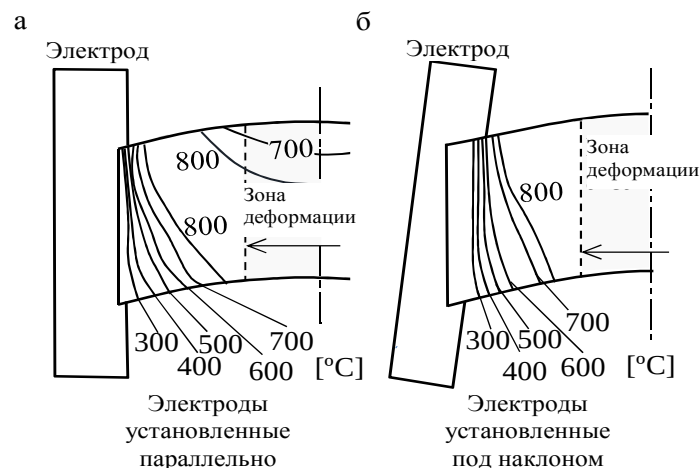


Рис. 13. Распределение температуры в формоизмененной заготовке толщиной 1,6 мм при силе тока 750 А

Сведения об авторах

Хамедон Замзури – Технологический Университет Тойохаши, г.Тойохаши, Япония.

Мори Кен-Ихиро – профессор Технологического университета, г.Тойохаши, Япония. E-mail: mori@plast.me.tut.ac.jp.

Маэно Томоёши – Технологический Университет Тойохаши, г.Тойохаши, Япония.

Ямашита Юя – Технологический Университет Тойохаши, г.Тойохаши, Япония.

Заключение

В работе рассмотрен процесс горячей штамповки листовой заготовки из титанового сплава Ti-6Al-4V с получением деталей с цилиндрическими элементами. Показана эффективность данного процесса за счет использования электроконтактного нагрева, позволяющего сократить время нагрева металла перед штамповкой.

В результате снижаются упругое последствие в штампованной детали и степень окисления ее поверхности. Успешная формовка наблюдалась при температурах свыше 370°C , а при температуре нагрева 880°C наблюдалось снижение усилия штамповки с 6,5 кН при комнатной температуре до 1,8 кН. При нагреве предварительно деформированной листовой заготовки с установкой электродов под углом 7° к нагреваемой заготовке наблюдалось равномерное распределение температур по сечению профиля, которое составило $825 \pm 20^\circ\text{C}$.

Список литературы

1. Mori K., Maki S., Tanaka Y. Warm and hot stamping of ultra-high tensile strength steel sheets using resistance heating, CIRP Annals – Manufacturing Technology, 54-1 (2005), 209-212.
2. Mori K., Okuda Y. Tailor die quenching in hot stamping for producing ultra-high strength steel formed parts having strength distribution, Annals of the CIRP – Manufacturing Technology, 59-1 (2010), 291-294.
3. Mori K., Maeno T., Fukui Y. Spline forming of ultra-high strength gear drum using resistance heating of side wall of cup, CIRP Annals – Manufacturing Technology, 60-1, (2011), 299-302.
4. Mori K., Maeno T., Fuzisaka S. Punching of ultra-high strength steel sheets using local resistance heating of shearing zone, Journal of Materials Processing Technology, 212-2 (2012), 534-540.
5. Ozturk F., Ece R.E., Polat N., Koksai A. Assessment of electrical resistance heating for hot formability of Ti-6Al-4V alloy sheet, Key Engineering Materials, 473 (2011), 130-136.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

HOT STAMPING OF TITANIUM ALLOY SHEET USING RESISTANCE HEATING

Hamedon Zamzuri – Mechanical Engineering Department, Toyohashi University of Technology, Aichi, Japan.

Mori Ken-ichiro – Professor, Mechanical Engineering Department, Toyohashi University of Technology, Aichi, Japan. E-mail: mori@plast.me.tut.ac.jp.

Maeno Tomoyoshi – Mechanical Engineering Department, Toyohashi University of Technology, Aichi, Japan.

Yamashita Yuuya – Mechanical Engineering Department, Toyohashi University of Technology, Aichi, Japan.

Abstract. A hot stamping process of a titanium alloy sheet using resistance heating was developed to improve the productivity. As the heating temperature increased, the bending load decreased and the titanium alloy sheet was successfully formed at elevated temperatures. As the heating temperature increased, the springback of the bent sheet decreased. Although needle-shaped martensite appeared at a heating temperature of 1050°C , the microstructure at a heating

temperature of 880°C was similar to the as-received sheet. When the heating temperature increased to 880°C , the hardness increased to 370 HV20. It was found that the hot hat-shaped bending of the titanium alloy sheet using the resistance heating was effective in improving the productivity.

Keywords: titanium alloy sheet, Ti-6Al-4V, hot stamping, resistance heating, springback.

УДК 621.771

Чукин М.В., Песин А.М., Рыдз Д., Торбус Н., Полякова М.А., Гулин А.Е.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННО СОЗДАВАЕМОЙ СКОРОСТНОЙ АСИММЕТРИИ ПРИ ПРОКАТКЕ БИМЕТАЛЛА Ti-Ni

Аннотация. В работе приведены результаты исследований влияния скоростной асимметрии на изменение кривизны несимметричной биметаллической Ti-Ni ленты при прокатке. Показано, что, увеличивая скоростную асимметрию, можно довести кривизну готовой биметаллической ленты до нуля.

Ключевые слова: биметаллические листы, Ti-Ni, прокатка биметаллов, скоростная асимметрия.

Биметаллические листы широко применяются во многих областях промышленности, включая химическую, космическую и др. Они характеризуются высокой прочностью, значительным сопротивлением к коррозии, превосходной электропроводимостью. До недавнего времени получение биметаллического материала Ti-Ni было невозможно. Однако в настоящее время это достигается с помощью сварки взрывом. Последний метод позволяет соединять как чистые металлы, так и их сплавы. Биметаллические листы Ti-Ni предназначены для использования в качестве мембран при электролизе.

Процесс прокатки биметаллов в валках равного диаметра и имеющих одинаковую окружную скорость приводит к изгибу листа. В настоящей работе приведены результаты исследований с использованием двух противоположно направленных факторов асимметрии. Биметаллическая лента толщиной 2,0 мм из титана (толщиной 1,0 мм) и никеля (толщиной 1,0 мм) прокатывалась в рабочих валках диаметром 250 мм. Перед прокаткой ленту отжигали при температуре 600°C. При прокатке с одинаковыми окружными скоростями рабочих валков биметаллическая лента полу-

чала кривизну $2,04 \text{ м}^{-1}$ (при обжатии 10%), $4,50 \text{ м}^{-1}$ (20%) и $5,00 \text{ м}^{-1}$ (30%) из-за асимметрии процесса. Для уменьшения кривизны использовали дополнительный фактор – скоростную асимметрию. Рассогласование скоростей на 3% приводит к снижению кривизны с $4,50$ до $3,45 \text{ м}^{-1}$ (более чем на 25% при 20% обжатии), а на 5% – к снижению кривизны с $5,00$ до $3,20 \text{ м}^{-1}$ (более чем на 36% при 30% обжатии). Увеличивая скоростную асимметрию, можно легко довести кривизну готовой ленты до нуля.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-08-90904 мол_ин_нр» (Договор №НС-13-08-90904/13).

Список литературы

1. Pesin A.M., Salganik V.M., Pustovoitov D.O., Dyja H. Asymmetric rolling: Theory and Technology. HUTNIK-WIADOMOSCI HUTNICZE. 2012, no 5, pp. 358-363.
2. Pesin A., Salganik V., Trahtengertz E., Drigun E. Development of the asymmetric rolling theory and technology. Proceedings of the 8-th International Conference on Metal Forming. Krakow. Poland, 3-7 September 2000. *Metal Forming*. 2000, pp. 311-314.
3. Dyja H., Salganik W.M., Piesin A.M., Kawalek A. Asymetryczne walcowanie blach cienkich: teoria, technologia i nowe rozwiazania. Seria monografie, nr 137. Czestochowa, 2008, 345 p.

Сведения об авторах

Чукин Михаил Витальевич – д-р техн. наук, проф., проректор по научной и инновационной работе ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8(3519)29-84-09. E-mail: m.chukin@mail.ru

Песин Александр Моисеевич – д-р техн. наук, проф. кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: pesin@bk.ru

Рыдз Дариуш – д-р техн. наук, доц., Ченстоховский технологический университет, Польша. E-mail: rydz@wip.pcz.pl

Торбус Нина – аспирант, Ченстоховский технологический университет, Польша. E-mail: ntorbus@wip.pcz.pl

Полякова Марина Андреевна – канд. техн. наук, доц. кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: m.polyakova-64@mail.ru

Гулин Александр Евгеньевич – аспирант кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8(3519) 29-85-12.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE USE OF INTENTIONALLY CREATED HIGH-SPEED ASYMMETRY IN BIMETAL Ti-Ni ROLLING

Chukin Michail Vital'evich – D.Sc. (Eng.), Professor, Vice-rector for Scientific and Innovation Work, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: m.chukin@mail.ru.

Pesin Alexander Moiseevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: pesin@bk.ru.

Rydz Dariusz – D.Sc. (Eng.), Assistant Professor, Czestochowa University of Technology, Poland. E-mail: rydz@wip.pcz.pl.

Torbus Nina – Postgraduate Student, Czestochowa University of Technology, Faculty of Materials Processing Technology and Applied Physics. E-mail: ntorbus@wip.pcz.pl.

Polyakova Marina Andreevna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: m.polyakova-64@mail.ru.

Gulin Alexander Evgenievich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Phone: 8(3519) 29-85-12.

Abstract. The paper presents the results of the high-speed asymmetry effect on the curvature change of the asymmetric Ti-Ni tape in rolling. It is shown that curvature of the finished bimetallic strip can be

reduced to zero by increasing the speed asymmetry.

Keywords: bimetallic strips, Ti-Ni, bimetal rolling, high-speed asymmetry.

УДК 621.771

Песин А.М., Дья Х., Кавалек А., Сжинский П., Пустовойтов Д.О.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВУХ ФАКТОРОВ АСИММЕТРИИ ПРИ ТОЛСТОЛИСТОВОЙ ПРОКАТКЕ

Аннотация. В настоящей работе приведены результаты исследований влияния двух противоположно направленных факторов асимметрии на изменение энергосиловых параметров процесса толстолистовой прокатки. Исследовано влияние скоростной и геометрической асимметрии на параметры процесса прокатки. Установлено, что применение двух противоположно направленных факторов асимметрии позволяет существенно снизить усилие и мощность прокатки, а также обеспечить получение листов без кривизны.

Ключевые слова: асимметричная прокатка, листовая металлопродукция, усилие прокатки, мощность прокатки, кривизна.

Начиная с 2000-го года осуществляется научно-исследовательское сотрудничество между Магнитогорским государственным техническим университетом и Ченстоховским технологическим университетом в области асимметричной прокатки. Применение асимметричной прокатки позволяет стабилизировать процесс и улучшить качество листовой металлопродукции.

В настоящей работе приведены результаты исследований с использованием двух противоположно направленных факторов асимметрии. Исследования проводили для следующих условий: марка стали 18G2A (аналог 17Г1С), коэффициент трения 0,3, частота вращения валков 80 об/мин, диаметр валков Ø970 мм. Асимметричную прокатку проводили согласно режимам, приведённым в таблице.

Режимы прокатки

Режим прокатки	Начальная высота листа H_0 , мм	Относительная деформация ϵ , %	Температура, °C
1	70	25	880
2	120	20	900

Прокатку проводили с использованием следующих вариантов асимметрии: 1) применяли скорост-

ную асимметрию (уменьшали частоту вращения верхнего валка на 10%); 2) применяли геометрическую асимметрию (уменьшали диаметр нижнего валка с Ø970 до 870 мм); 3) одновременно применяли два указанных выше фактора асимметрии, направленных в противоположные стороны.

Получены следующие результаты. Прокатка по первому и второму вариантам не позволила существенно уменьшить усилие прокатки. Прокатка по третьему варианту позволила снизить усилие прокатки на ~5%, а мощность прокатки на ~10%. При этом лист был получен без кривизны.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-08-90906 мол_ин_нр» (Договор № НС-13-08-90906\13).

Список литературы

1. Pesin A.M., Salganik V.M., Pustovoytov D.O., Dyja H. Asymmetric rolling: Theory and Technology. HUTNIK-WIADOMOSCI HUTNICZE. 2012, no 5, pp. 358-363.
2. Pesin A., Salganik V., Trahtengertz E., Drigun E. Development of the asymmetric rolling theory and technology. Proceedings of the 8-th International Conference on Metal Forming. Krakow. Poland, 3-7 September 2000. Metal Forming. 2000, pp. 311-314.
3. Dyja H., Salganik W.M., Piesin A.M., Kawalek A. Asymetryczne walcowanie blach cienkich: teoria, technologia i nowe rozwiazania. Seria monografie, nr 137. Czestochowa, 2008, 345 p.

Сведения об авторах

Песин Александр Моисеевич – д-р техн. наук, проф. кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: pesin@bk.ru.

Дья Хенрик – д-р техн. наук, проф., Ченстоховский технологический университет, Польша. E-mail: dyja@wip.pcz.pl.

Кавалек Анна – д-р техн. наук, доц., Ченстоховский технологический университет, Польша. E-mail: kawalek@wip.pcz.pl.

Сжинский Павел – аспирант, Ченстоховский технологический университет, Польша. E-mail: szyinski@wp.pl.

Пустовойтов Денис Олегович – канд. техн. наук, ст. преп. кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: pustovoytov_den@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE APPLICATION OF TWO ASYMMETRY FACTORS IN PLATE ROLLING

Pesin Alexander Moiseevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: pesin@bk.ru.

Dyja Henrik – D.Sc. (Eng.), Professor, Director of the Institute of Metal Forming and Engineering Security, Czestochowa University of Technology, Poland. E-mail: dyja@wip.pcz.pl.

Kawalek Anna – D.Sc. (Eng.), Assistant Professor, Czestochowa University of Technology, Poland. E-mail: kawalek@wip.pcz.pl.

Szyński Pawe – Postgraduate Student, Czestochowa University of Technology, Faculty of Materials Processing Technology and Applied Physics, Poland. E-mail: szyinski@wp.pl.

Pustovoytov Denis Olegovich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: pustovoytov_den@mail.ru.

Abstract. This paper presents the research results of two opposing asymmetry factors effect on the power parameters changing of plate rolling process. The effect of high-speed and geometric asymmetry on the parameters of the rolling process has been investigated. It was determined that the

application of two opposing asymmetry factors permits to reduce the rolling force and power, as well as to provide the resulting sheet without curvature.

Keywords: curvature, rolling loading, rolled metal products, rolling capability, asymmetric rolling.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

УДК 621.777.25: 621.778

Парусов В.В., Сычков А.Б., Чуйко И.Н., Парусов О.В., Сухомлин В.И.

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ КАТАНКИ ИЗ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ СВАРОЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Аннотация. Комплексными методами исследованы особенности микроструктуры катанки из стали марок Св-08ГНМ и Св-08Г1НМА. Характерная микроструктура исследуемой катанки состоит, в основном, из феррита, бейнито-мартенситных участков и незначительного количества перлита. Установленный факт высокого совершенства тонкой кристаллической структуры ферритной матрицы является одним из важных факторов обеспечения высокой технологической пластичности катанки в процессе ее переработки в сварочную проволоку.

Ключевые слова: микроструктура, катанка сварочного назначения, свойства, технологичность при волочении.

Качество катанки из низкоуглеродистой легированной стали сварочного назначения определяется широким комплексом характеристик, к которым относятся химический состав металла, макро- и микроструктура, состояние поверхности проката и т.д.

Микроструктура катанки совместно с другими показателями ее качества определяет в конечном итоге ее способность к волочению, а также комплекс потребительских свойств готовой проволоки. Соотношение структурных составляющих, их размер, однородность распределения по сечению катанки, а также их тонкое строение играют в этом отношении важное значение.

Ранее проведенными исследованиями [1-6] была разработана комплексная технология производства катанки сварочного назначения из легированных сталей, которая обладает высокими качественными показателями, обеспечивающими способность к прямому (без предварительного и/или промежуточного умягчающего отжига) волочению готовой сварочной проволоки.

Низкие прочностные и высокие пластические свойства легированной катанки сварочного назначения и, как следствие, ее высокая технологичность на метизном переделе были достигнуты за счет комплекса мероприятий, включающих в себя следующее:

– оптимизацию химического состава сталей в рамках марочных требований;

– применение микролегирования стали бором и связывание им азота в нитрид в стехиометрическом отношении с исключением как остваривания стали, так и закалки стали за счет отсутствия в металле свободного, эффективного бора;

– использование разупрочняющих режимов термомеханической обработки катанки на линии Стелмор.

Применение при производстве легированной сварочной катанки указанного комплекса мероприятий обеспечило получение структурного состояния металла, характеризующегося повышенным количеством ферритной фазы (90-95%) и низким количеством закалочных структур (менее 10%). Немаловажным аспектом является обеспечение требуемой вели-

чины действительного зерна (№7-9) и, как следствие, уменьшение плотности дислокаций, а также количества и распределения дисперсных фаз, обусловленных микролегированием стали.

В связи с этим представляло интерес исследование и анализ тонкой структуры катанки из стали марок Св-08ГНМ и Св-08Г1НМА, изготовленной по разработанной технологии.

Химический состав и механические характеристики катанки диаметром 5,5 мм из стали марок Св-08ГНМ и Св-08Г1НМА представлены в **таблице**.

Микроструктуру катанки изучали с помощью современных светового (Axiovert 200M MAT) и растровых электронных (Karl Zeiss EVO-60 и Teskan TS 5130 MM) микроскопов, а также просвечивающего электронного микроскопа УЭМВ-100К (анализ фольг из исследуемой катанки в режиме трансмиссии – «на просвет»)*.

Химический состав и механические свойства исследуемой катанки

Марка стали	Химический состав, %							Механические свойства	
	C	Mn	Si	Ni	Mo	B	N	σ_s , Н/мм ²	ψ , %
Св-08ГНМ	0,06	0,73	0,25	0,67	0,96	0,0067	0,0080	610	69
Св-08Г1НМА	0,05	1,10	0,31	0,58	0,66	0,0056	0,0070	685	73

Проведенный анализ показал, что катанка из стали марок Св-08ГНМ и Св-08Г1НМА характеризуется выраженным разнообразием структуры. Характерная микроструктура исследуемой катанки состоит, в основном, из феррита, бейнито-мартенситных участков и незначительного количества перлита (**рис. 1**).

Для катанки из обеих марок стали (**рис. 1, а, д**) характерно наличие тонкого ферритного слоя на поверхности. Глубина этого слоя составляет 0,10-0,12 и 0,06-0,08 мм для марок Св-08ГНМ и Св-08Г1НМА соответственно.

* В работе принимали участие А.М. Нестеренко и С.Ю. Жукова.

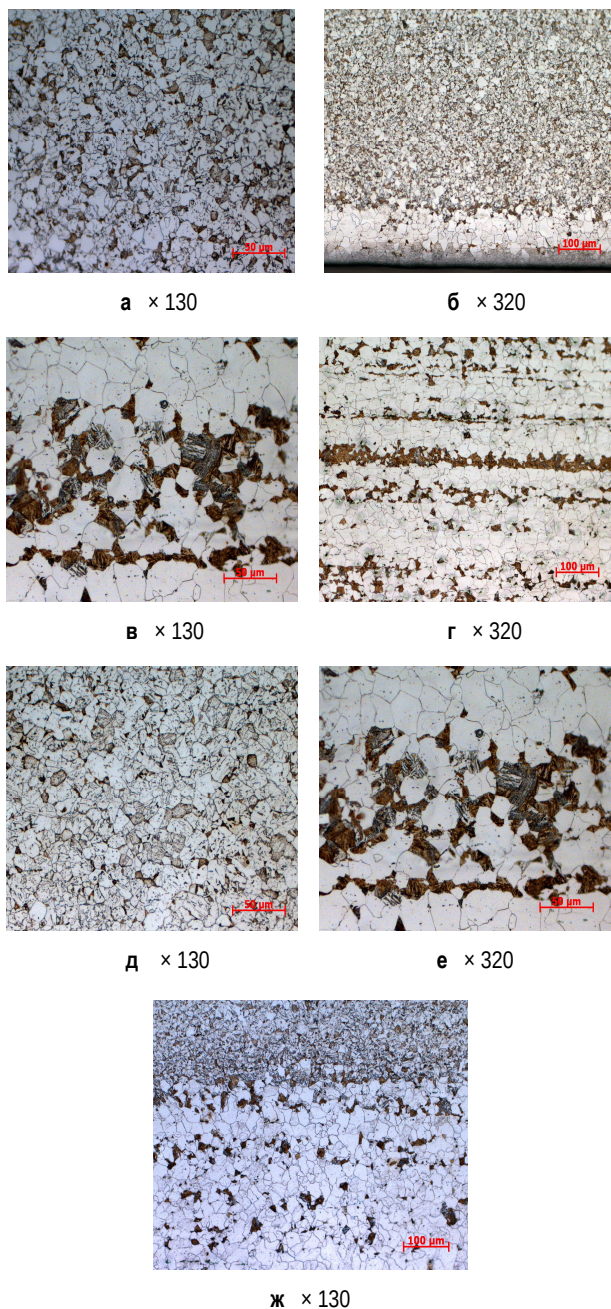


Рис. 1. Микроструктура катанки диаметром 5,5 мм из стали Св-08ГНМ (а-г) и Св-08Г1НМА (д-ж): а, б, д – поверхностная зона; в, г, е – центральная зона; ж – граница поверхностной и центральной зон; в, ж – продольные шлифы, остальные – поперечные

Особенностью микроструктуры исследуемых сталей является наличие вытянутых вдоль оси катанки ферритных полос, более выраженных для стали Св-08Г1НМА (рис. 1, в, ж). Наблюдаемые в структуре катанки из исследуемых сталей ферритные полосы могут возникать в результате микроликвации химических элементов, входящих в их состав. Проведенные на микроскопе «МС-46 Камека» микрозондовые исследования показали, что для обеих сталей распределение Mn, Si, Ni и Mo по сечению катанки, включая

ферритные полосы и феррито-бейнито-мартенситные участки, практически равномерное. Следовательно, наблюдаемая особенность структуры катанки из исследуемых сталей обусловлена, в основном, неравномерным распределением углерода вследствие его микроликвации при дендритной кристаллизации стали.

Более мелкозернистая структура, определяющая повышенные показатели прочности при том же уровне пластичности, наблюдается в катанке из стали Св-08ГНМ (рис. 1, д-ж). Размер ферритного зерна поверхностной зоны катанки Св-08ГНМ составляет 9,0-15,6 мкм (№9-10 по ГОСТ 5639), а для средней зоны – 18,5-25,0 мкм (№7-8). Аналогичные показатели для катанки из стали марки Св-08Г1НМА составляют 6,0-10,0 мкм (№10-11) и 9,0-12,0 мкм (№9-10) соответственно.

Электронная микроскопия фольг, полученных из катанки исследуемых сталей, позволила выявить особенности их тонкой структуры.

Установлено, что феррит в катанке из стали Св-08ГНМ низкодислокационный – на соответствующей микрофотографии (рис. 2, а) наряду со скоплениями дислокаций незначительной плотности отчетливо просматриваются отдельные дислокации.

При анализе микроснимков бейнитной структуры этой стали различаются широкие пластины α -фазы толщиной 0,2-0,4; 0,5-0,6 и 0,7-0,9 мкм нижнего (с микровыделениями цементита внутри пластин – рис. 2, б, в) и верхнего (с выделениями цементита в виде микрополос по границам пластин – показано стрелками на рис. 2, г) бейнита. Следует отметить, что примыкающие к горизонтально расположенной пластине α -фазы верхнего бейнита на рис. 2, г другие пластины α -фазы представляют собой, в основном, нижний бейнит. Это свидетельствует, с одной стороны, о выраженном микронеравномерном распределении углерода, а с другой – о неравновесных условиях $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения. Микроучастки бейнита зачастую соседствуют с микроучастками перлита (рис. 2, д). Объемная доля перлита в структуре стали незначительна (до 10%).

Мартенситные пластины в стали Св-08ГНМ толщиной 0,2-0,8 мкм имеют размытые границы и насыщены дислокациями (рис. 2, е, ж). Микроэлектроннограмма одного из участков мартенсита (рис. 2, е) показывает наличие дробных расщепленных рефлексов (рис. 2, з). Это является свидетельством значительной разориентации соседствующих мартенситных пластин, которая обусловлена неравновесными условиями их формирования при распаде аустенита.

В катанке из стали Св-08Г1НМА границы зерен феррита (рис. 3, а) более обособлены (насыщены дислокациями), чем в катанке из стали Св-08ГНМ (см. рис. 2, а). В катанке из стали Св-08Г1НМА более высокой является и внутризеренная плотность дислокаций. Широкие пластины α -фазы бейнита и мартенсита (показано стрелками на рис. 3, б) в катанке из этой стали наблюдаются редко. Для нее характерно наличие мартенсита в виде насыщенных дислокациями пластин-игл толщиной 0,15-0,60 мкм (рис. 3 в-е). Анализ микроэлектроннограмм (рис. 3, ж) от представленной на рис. 3, з совокупности мартенситных кристаллов свидетельствует об имеющей место выраженной

разориентировке пластин α -фазы.

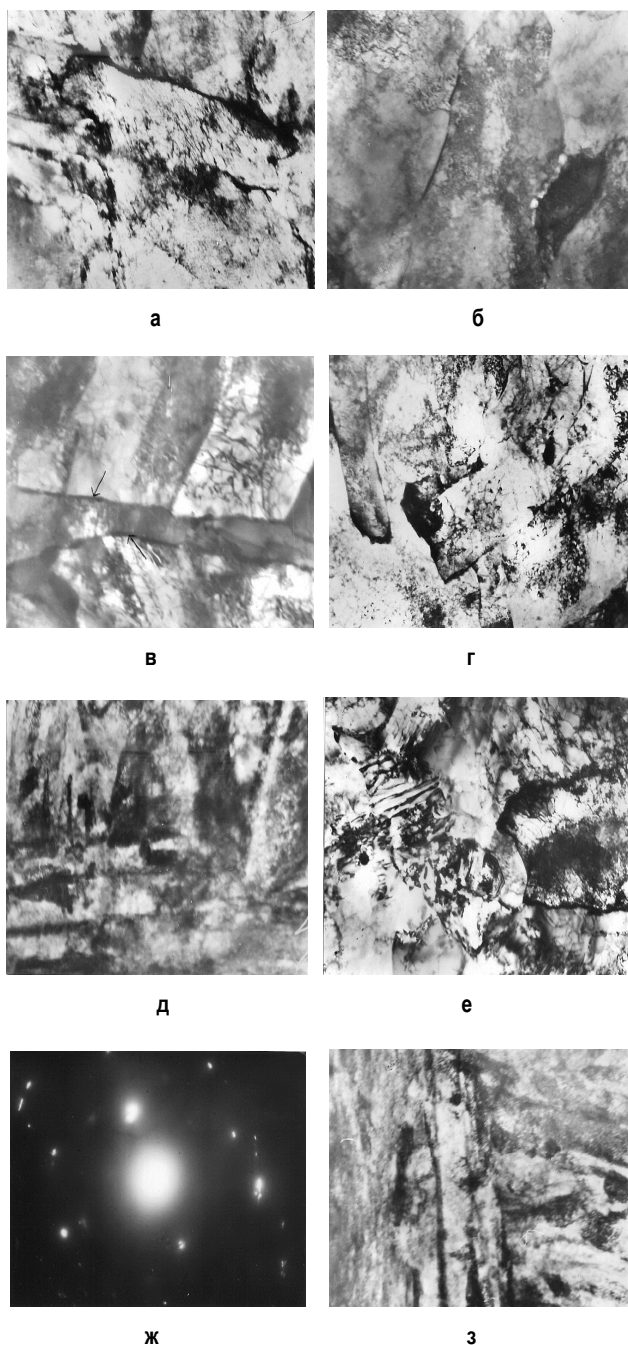


Рис. 2. Трансмиссионная электронная микроскопия катанки из стали Св-08ГНМ: а-д – $\times 25000$; е-ж – $\times 20000$

Тонкодифференцированный перлит в катанке из стали Св-08ГНМА наблюдается в виде микроучастков, соседствующих чаще всего с микроучастками мартенсита (см. рис. 3, з – микроучасток мартенсита указан стрелкой).

Полученные для катанки из стали Св-08ГНМА данные также свидетельствуют о неравновесных условиях $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения.

Показано, что микроструктура катанки из сталей Св-08ГНМ и Св-08ГНМА состоит, в основном, из

феррита, бейнито-мартенситных участков и незначительного количества перлита. Также наблюдается наличие вытянутых вдоль оси катанки ферритных полос, образование которых обусловлено, в основном, ликвацией углерода.

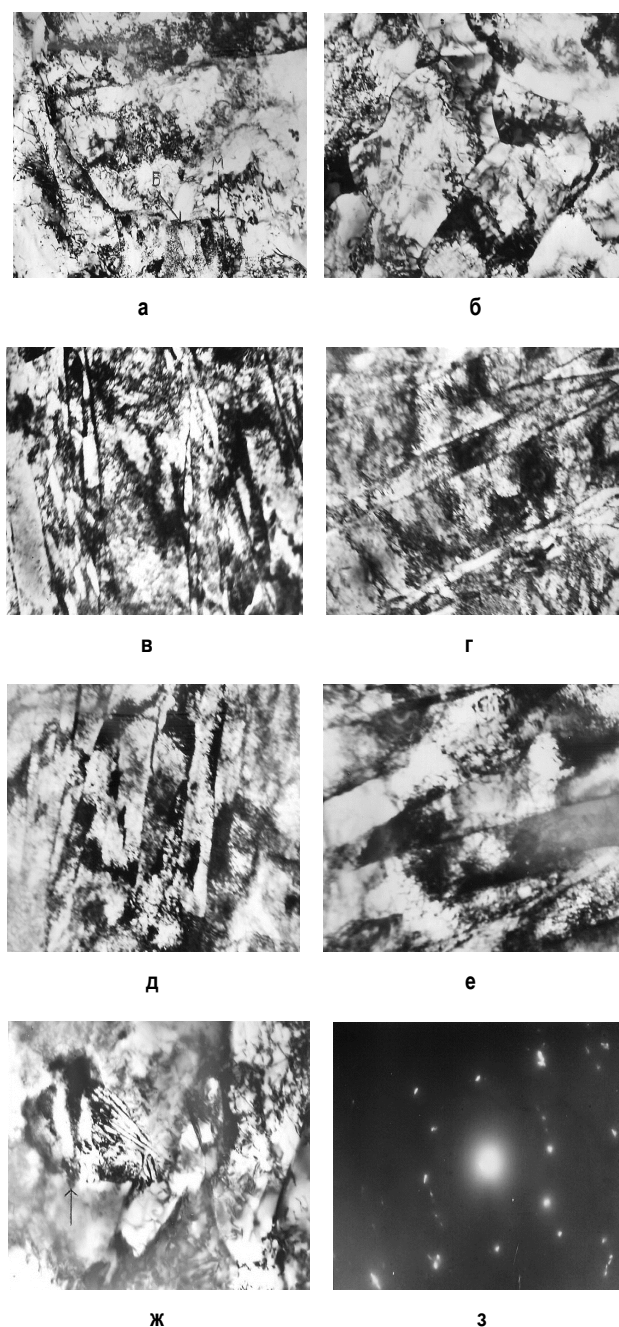


Рис. 3. Трансмиссионная электронная микроскопия катанки из стали Св-08ГНМА: а-г, е, з – $\times 20000$; д – $\times 25000$

Заключение

Выраженное перераспределение Mn, Si, Ni и Mo между полосами феррита и основной структурой в исследованных образцах катанки не выявлено.

Для катанки из стали Св-08ГНМ в составе бейнито-мартенситных участков преобладает бейнитная

составляющая в виде нижнего и верхнего бейнита, а для катанки из стали Св-08Г1НМА – пластинчатый игольчатый (речный) мартенсит.

Установленный факт высокого совершенства тонкой кристаллической структуры феррита – основной фазы катанки из стали Св-08Г1НМ и Св-08Г1НМА является одним из важных факторов обеспечения прямого волочения сварочной проволоки.

Список литературы

1. Освоение технологии производства катанки из стали Св-08Г1НМ на Молдавском металлургическом заводе / И.Н. Чуйко, В.В. Парусов, О.В. Парусов, И.В. Деревянченко, А.Б. Сычков, С.Ю. Жукова // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. трудов. Вып. 41, ч. 2. Днепропетровск: ПГАСА, 2007. С. 129-134.
2. Разработка селективных требований к химическому составу и режимам термомеханической обработки катанки / В.В. Парусов,

- И.Н. Чуйко, О.В. Парусов, И.В. Деревянченко, А.Б. Сычков // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2007. №6. С. 70-72.
3. Кинетика фазовых превращений в катанке из непрерывнолитой электростали Св-08Г1НМ при непрерывном охлаждении / В.В. Парусов, И.Н. Чуйко, М.Ф. Евсюков, А.Б. Сычков, А.И. Сивак // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: сб. науч. тр. / ИЧМ. Днепропетровск: Візiон, 2007. Вып. 14. С. 228-234.
4. Структурообразование в катанке из легированных сталей сварочного назначения / В.В. Парусов, И.Н. Чуйко, О.В. Парусов, М.Ф. Евсюков, А.Б. Сычков, М.А. Жигарев, А.В. Перчаткин // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2008. №6. С. 47-49.
5. Влияние химического состава на структуру, свойства и технологическую пластичность катанки сварочного назначения из стали Св-08Г1НМ / В.В. Парусов, А.Б. Сычков, И.Н. Чуйко, О.В. Парусов, С.Ю. Жукова, М.А. Жигарев, А.В. Перчаткин // Теория и практика металлургии. 2009. №1-2. С. 98-102.
6. Структура и свойства катанки для изготовления электродов и сварочной проволоки / А.Б. Сычков, В.В. Парусов, А.М. Нестеренко, С.Ю. Жукова, М.А. Жигарев, А.В. Перчаткин, А.В. Перегудов, И.Н. Чуйко. Бендеры: Полиграфист, 2009. 608 с.

Сведения об авторах

Парусов Владимир Васильевич – д-р техн. наук, проф., зав. отделом термообработки металлов для машиностроения Института черной металлургии (ИЧМ) Национальной Академии наук Украины, г. Днепропетровск, Украина. E-mail: alyance2000@ukr.net.

Сычков Александр Борисович – д-р техн. наук, проф. кафедры литейного производства и материаловедения ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: absyckov@mail.ru.

Чуйко Игорь Николаевич – канд. техн. наук, научный сотрудник отдела термообработки металлов для машиностроения Института черной металлургии (ИЧМ) Национальной Академии наук Украины, г. Днепропетровск, Украина. E-mail: ichuyko@mail.ru.

Парусов Олег Владимирович – канд. техн. наук, старший научный сотрудник отдела термообработки металлов для машиностроения Института черной металлургии (ИЧМ) Национальной Академии наук Украины, г. Днепропетровск, Украина. E-mail: alyance2000@ukr.net.

Сухомлин Владимир Иванович – канд. техн. наук, доцент кафедры физики твердого тела Днепродзержинского государственного технического университета, г. Днепродзержинск, Украина. E-mail: alma31@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE INVESTIGATION OF ROD MICROSTRUCTURE FROM ALLOY STEEL OF WELDING APPLICATIONS

Parusov Vladimir Vasilyevich – D.Sc. (Eng.), Professor of the Institute of Iron-Steel of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine. E-mail: alyance2000@ukr.net.

Syckov Alexander Borisovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: absyckov@mail.ru.

Chuiko Igor Nikolaevich – Ph.D. (Eng.), Research fellow of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine. E-mail: ichuyko@mail.ru.

Parusov Oleg Vladimirovich – Ph.D. (Eng.), Senior Researcher of the Institute of ferrous metallurgy of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine. E-mail: alyance2000@ukr.net.

Sukhomlin Vladimir Ivanovich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor of the Dneprodzerzhinsk State Technical University, Dneprodzerzhinsk, Ukraine. E-mail: alma31@mail.ru.

Abstract. The features of the steel rod microstructure of Sv-Sv-08GNM and 08G1NMA steel grades were investigated by complex methods. The characteristic microstructure of rod under investigation mainly consists of ferrite, bainite martensite sections and a small amount of perlite. The fact stated that high perfection of the thin crystal structure of ferrite matrix is an important factor to provide wire rod with high technological plasticity in its processing into the welding wire.

Keywords: microstructure, welding wire rod, properties, processability at drawing.

References

1. Chujko I.N., Parusov V.V., Parusov O.V., Derevyanchenko I.V., Syckov A.B., Zhukova S.Yu. Development of production technology of steel wire rod Sv-08GNM on the Moldavian Metallurgical Plant. *Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie: sb. nauch. trudov* [Construction, materials science, mechanical engineering: Collection of scientific papers]. Iss. 41, Part 2. Dnepropetrovsk: PGASA, 2007, pp. 129-134.
2. Parusov V.V., Chujko I.N., Parusov O.V., Derevyanchenko I.V., Syckov A.B. The development of selective requirements for chemical composition and modes of deformed- and heat treatment processing wire rod. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost* [Metallurgical and Mining

- Industry]. 2007, no. 6, pp. 70-72.
3. Parusov V.V., Chujko I.N., Evsyukov M.F., Syckov A.B., Sivak A.I. The kinetics of phase transformations in wire rod from electric steel Sv-08GNM in continuous continuous cooling. *Fundamentalnyye i prikladnyye problemy chernoy metallurgii: sb. nauch. tr.* [Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy: Collection of scientific papers]. Dnepropetrovsk: Vizion, 2007, iss. 14, pp. 228-234.
4. Parusov V.V., Chujko I.N., Parusov O.V., Evsyukov M.F., Syckov A.B., Zhigarev M.A., Perchatkin A.V. Structure formation in the wire rod of alloy steel welding appointment. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost* [Metallurgical and Mining Industry]. 2008, no. 6, pp. 47-49.
5. Parusov V.V., Syckov A.B., Chujko I.N., Parusov O.V., Zhukova S.Yu., Zhigarev M.A., Perchatkin A.V. Effect of chemical composition on the structure, properties and technological plasticity of the welding wire rod made of steel Sv-08GNM. *Teoriya i praktika metallurgii* [Theory and practice of metallurgy]. 2009, no. 1-2, pp. 98-102.
6. Syckov A.B., Parusov V.V., Nesterenko A.M., Zhukova S.Yu., Zhigarev M.A., Perchatkin A.V., Peregudov A.V., Chujko I.N. *Struktura i svoystva katanki dlya izgotovleniya elektrodov i svarochnoy provoloki* [The structure and properties of the wire rod for the manufacture of electrodes and welding wire]. Bender: Poligrafist, 2009, 608 p.

УДК 621.762

Федосеева М.А.

ПРОЧНОСТЬ И ТВЕРДОСТЬ МАТЕРИАЛА AL-FETI НА ОСНОВЕ МЕХАНОХИМИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННОГО СТРУЖКОВОГО ПОРОШКА Д-16

Аннотация. Исследовано влияние времени размолла (5,8-15,8 кс) и скорости вращения ротора мельницы (290-360 мин⁻¹) на механические свойства порошкового материала на основе активированного стружкового порошка. Определены оптимальные значения технологических параметров механохимической активации, обеспечивающих повышенные механические свойства горячедеформированного порошкового материала Al-FeTi.

Ключевые слова: прочность, твердость, стружка Д-16, механическая активация.

Введение. В настоящее время широкое применение в автомобилестроении получили сплавы на основе алюминия, которые характеризуются низкой плотностью, повышенной удельной прочностью, теплопроводностью. Методы порошковой металлургии позволяют получать детали с заданными функциональными свойствами и являются энерго- и ресурсосберегающими. С целью снижения затрат на основные материалы и повышение механических свойств горячедеформированных порошковых материалов (ГДПМ) в ЮРГПУ (НПИ) предложены технологии, основанные на использовании механохимически активированного (МХА) стружкового порошка Д-16 [1]. Прочность и твердость материала на основе активированного стружкового порошка определяется технологическими параметрами обработки в высокоэнергетической мельнице [1, 2].

Введение титана повышает прочность и равномерность распределения свойств по объему алюминиевого сплава за счет измельчения зерна [3]. Образовавшаяся дисперсная фаза Al₃Ti (5% масс. Ti) сдерживает рост зерен в процессе уплотнения материала Al-Ti [4, 5]. Порошковые материалы на основе алюминия, механически легированные титаном, с повышенными механическими свойствами характеризуются мелкодисперсной структурой [6,7]. Упрочнение алюминиевой матрицы может быть обеспечено за счет дисперсной фазы Al₃Fe в перспективных эвтектических сплавах Al-Fe [8].

Цель работы. Установление закономерностей влияния технологических параметров МХА на механические свойства ГДПМ Al-FeTi.

Методики проведения исследований. В качестве исходных материалов использовали стружку алюминиевого сплава Д-16 (толщина 0,5-1,0 мм; ширина 1-5 мм), полученную в процессе токарной обработки. При исследовании влияния технологических параметров размолла на гранулометрический состав измельченной стружки в шихту вводили ферротитан ФТи35С7 (ГОСТ 4761-91). Механохимическое активирование проводили в среде насыщенного водного раствора борной кислоты (НВРБК) для защиты от окисления материала стружки Д-16, интенсификации измельчения, формования без налипания [1, 9]. На основе предварительных экспериментов

определено оптимальное содержание ферротитана 6% масс. и содержание (НВРБК) 30% масс. от массы шихты, обеспечивающие повышенную интенсивность измельчения.

План проведения эксперимента строили на основе ротатбельного плана второго порядка (табл. 1) [10]. МХА стружки проводили в высокоэнергетической мельнице «САНД-1» при соотношении масс шаров ($d_{\text{шаров}}=10$ мм) и шихты $M_{\text{шаров}}:m_{\text{шихты}} = 10:1$. В качестве исследуемых технологических параметров выбрали время размолла ($\tau_p=5,8...15,8$ кс) и скорость вращения ротора мельницы ($V_p=290...360$ мин⁻¹). Гранулометрический анализ (ГОСТ 18318-94) МХА шихты проводился до и после ручной обработки (0,9 кс) в ступе с последующим выделением фракции -630 мкм и смешиванием части активированной стружки Д16 с порошком алюминия (ПА-4, ГОСТ 6058-73) в соотношении 1:1.

Таблица 1

План проведения эксперимента

Номер образца	Время размолла τ_p , кс		Скорость размолла V_p , мин ⁻¹	
	Кодированное значение	Натуральное значение	Кодированное значение	Натуральное значение
101	-	7,2	-	300
102	-	7,2	+	350
103	+	14,4	-	300
104	+	14,4	+	350
105	0	10,8	-1,414	290
106	0	10,8	+1,414	360
107	-1,414	5,8	0	325
108	+1,414	15,8		
109-113	0	10,8	-	300
114	0	10,8		

Для оценки степени агломерации порошковой шихты при ее механической активации определяли показатель ПАГ с учетом среднего размера частиц после МХА (d_0) и последующей обработки в ступе (d_1):

$$\text{ПАГ} = d_0/d_1.$$

Порошковую формовку прессовали (455 МПа) на

Таблица 2

Результаты экспериментальных исследований

Номер образца	Т _р , КС	V _р , мин ⁻¹	d ₀ , мкм	d ₁ , мкм	ПАГ	Θ _{гш}	HRE		Т _{ср} , МПа
							верх	низ	
101	7,2	300	81	195	0,41	0,990	104	105	224
102		350	62	155	0,40	0,958	100	102	204
103	14,4	300	47	50	0,93	0,993	100	100	192
104		350	53	48	1,12	0,978	96	96	171
105	10,8	290	49	66	0,74	0,984	101	102	184
106		360	90	148	0,60	0,966	102	102	200
107	5,8	325	58	54	1,08	0,968	101	102	249
108	15,8		54	73	0,74	0,990	105	101	155
109-113	10,8	300	55±5	67±29	0,82±0,30	0,984±0,008	100±4	99±4	202±12
114			300	56	96	0,58	0,998	103	105

гидравлическом прессе. Предварительный нагрев (550°C, 0,3 кс) проводили в электрической печи в воздушной атмосфере, с последующим динамическим горячим прессованием с приведенной работой уплотнения (ω) 140 МДж/м³ на копре с массой падающих частей 50 кг.

Механические свойства горячедетформированных порошковых материалов (ГДПМ) определяли при испытаниях на срез $\tau_{ср}$ и изгиб $\sigma_{и}$ (ГОСТ 18228-94)

на призматических образцах 40x10x5 мм, полученных методом свободнойковки нагретой пористой заготовки, упакованной в фольгу. Исследование предела прочности на срез проводили в специальном устройстве на разрывной машине типа Р-20, используя цилиндрические образцы ($d_{шт}=13,7$ мм), с проточенным шипом ($d_{ш} = 5$ мм). Твердость образцов замерялась на твердомере 5006 УХЛ42 по шкале HRE (диаметр индентора 3,175 мм, нагрузка 980,7 Н).

Термографический анализ проводили на дериватографе Diamond TG/DTA (ДТА) в динамическом режиме в интервале температур 30-650°C. Качественный фазовый состав определяли на порошковом дифрактометре ARL X'TRA.

Формирование ГДПМ на основе МХА стружкового порошка не обеспечивает стабильного бездефектного формования и изготовления образцов для механических испытаний.

Результаты и обсуждение экспериментальных исследований. Анализ исследований показал, что введение порошка алюминия в состояние поставки, в шихту на основе стружкового МХА порошка Д-16, обеспечивает стабильное получение образцов без их разрушения. Стружковый порошок, полученный при скорости размола 325 мин⁻¹ и времени 5,8 кс, обеспечивает повышенные значения предела прочности ГДПМ на срез $\tau_{ср}=249$ МПа при прочности на изгиб $\sigma_{изг}=179$ МПа и твердости материала

верхнего 101 и нижнего 102 HRE торцов образца (табл. 2). При этом порошковая шихта состоит из трудноразрушимых агломератов (ПАГ=1,08) и характеризуется средними размерами частиц до и после ручной обработки равными 58 и 54 мкм.

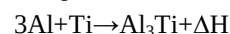
Анализ дериватограммы порошковой шихты (рис. 1), полученной при оптимальных условиях размола ($\tau_p=5,8$ кс и $V_p=325$ мин⁻¹), показал, что процесс разложения продукта сорбции протекает в несколько стадий:

а) удаление воды (температурный интервал 40-260°C);

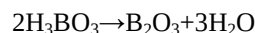
б) экзотермический эффект при 500-630°C;

в) экзотермический эффект при 630°C – процесс не завершен.

При взаимодействии алюминия с титаном протекает экзотермическая реакция с выделением тепла:



Снижение массы материала происходит за счет разложения борной кислоты



и обезвоживания шихты.

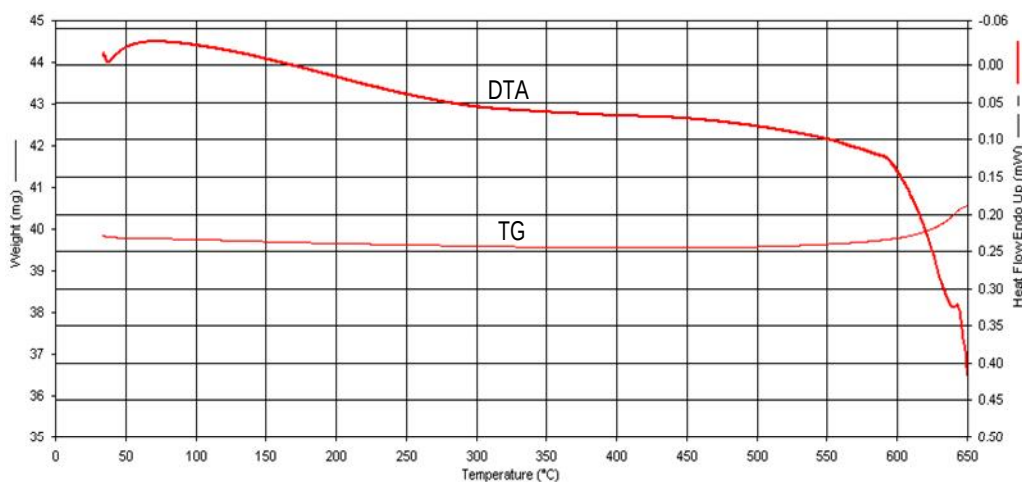


Рис. 1. Дериватограмма активированного стружкового порошка ($V_p=325$ мин⁻¹, $t_p=5,8$ кс):

DTA – изменение энтальпии; TG – изменение массы

На основе результатов фазового анализа (рис. 2) показано, что в процессе МХА стружки Д-16 возможно формирование интерметаллидных фаз Al_3Ti и Fe_2Ti , обеспечивающих получение ГДПМ с повышенными свойствами.

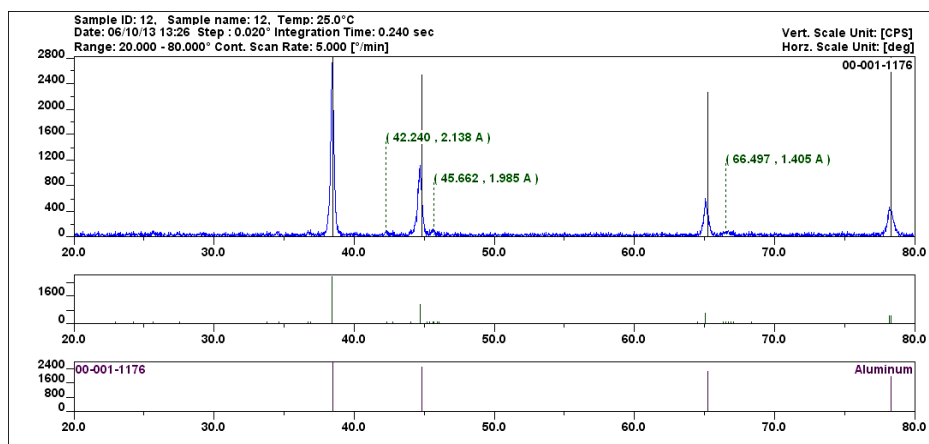


Рис. 2. Рентгенограмма активированного стружкового порошка ($V_p=325 \text{ мин}^{-1}$, $\tau_p=5,8 \text{ кс}$)

Выводы

Разработана технология получения ГДПМ с повышенными значениями прочности и твердости при утилизации стружковых отходов. Изучено влияние времени и скорости на свойства порошкового материала на основе активированного стружкового порошка. Определены оптимальные значения технологических параметров МХА ($V_p=325 \text{ мин}^{-1}$, $\tau_p=5,8 \text{ кс}$) при соотношении масс шаров и шихты $M_{\text{шаров}}:m_{\text{шихты}}=10:1$, содержание FeTi 6% масс. и НВРБК 30% масс. В результате ДТА исследований выявлен экзотермический эффект ($t=500-630^\circ\text{C}$) с формированием интерметаллидов Al_3Ti и Fe_2Ti .

Технология включает в себя МХА стружки Д-16 ($V_p=325 \text{ мин}^{-1}$, $\tau_p=5,8 \text{ кс}$), смешивание активированного стружкового порошка с порошком ПА в состоянии поставки ($V_p=150 \text{ мин}^{-1}$, $\tau_p=1,2 \text{ кс}$), формирование заготовок путем холодного формования (455 МПа) с последующим нагревом (550°C , 0,3 кс) и динамическим

Сведения об авторе

Федосеева Мария Александровна – аспирант Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия. Тел.: (950)8547555. E-mail: paprushik@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

STRENGTH AND HARDNESS OF THE AL-FETI MATERIAL ON THE BASIS OF MECHANOCHEMICALLY ACTIVATED CHIP POWDER D-16

Fedosyeva Mariy Aleksandrovna – Postgraduate Student, Platov South Russian State Polytechnic University (Novocherkassk Polytechnic Institute), Novocherkassk, Russia. Phone: (950)8547555. E-mail: paprushik@mail.ru.

Abstract. The effect of grinding time (5,8-15,8 кс) and a rotor mill speed ($290-360 \text{ мин}^{-1}$) on the mechanical properties of the powder material on the basis of activated chip powder was investigated. The optimal values of mechanochemical activation process parameters that provide improved mechanical properties of hot-powder material Al-FeTi have been identified.

Keywords: strength, hardness, D-16 chips, mechanical activation.

References

1. Dorofeyev J.G., Bezborodov E. N., Sergeenko S. N. Features of the formation of the compacted material from mechanically activated aluminum

горячим прессованием ($\omega=140 \text{ МДж/м}^3$).

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания на проведение НИОКР, шифр заявки №7.3767.2011.

Список литературы

1. Дорофеев Ю.Г., Безбородов Е.Н., Сергеев С.Н. Особенности формирования компактированного материала из механически активированной стружки алюминиевого сплава Д16 // Металловедение и термическая обработка металлов. 2003. №2. С. 31-33.
2. Дорофеев Ю.Г., Сергеев С.Н., Гриценко С. В. // Теория и технология производства порошковых материалов и изделий: науч. тр. Новочеркасск: НГТУ, 1993. С. 24-28.
3. <http://www.stroyexpo.com/content/view/256/62/>
4. Алюминий. Металловедение, обработка и применение алюминиевых сплавов. М.: Металлургия, 1972. 180 с.
5. Voon Kyung Il., Lee Kyung Sub. J. Особенности деформации сжатием нанокристаллических сплава AL-5at.% Ti, полученных методом реакционного шарового размола в водороде и горячего прессования под сверхвысоким давлением. Compressive deformation behavior of nanocrystalline AL-5 at.% Ti alloys prepared by reactive ball milling in H_2 and ultra high-pressure // Alloys and Compounds. 2002. 333, №1-2. С. 249-259.
6. Cuevas F.G., Cintas J., Montes J.M., Gallardo J.M. Порошок AL-Ti, полученный механическим легированием в течение различного времени. Al-Ti powder produced through mechanical alloying for different times // Докл. 2 International Electrophoretic Deposition: Fundamentals and Applications, Barga, June, 2005. J. Mater/ Sci/ 2006. 41, №24, pp. 8339-8346. http://www.titandioxide.ru/titan_s/sc3/0219.php.
7. Спеченные материалы из алюминиевых порошков / Гоппенко В.Г., Смагоринский М.Е., Григорьев А.А., Беллавин А.Д. М.: Металлургия, 1993. 177 с.
8. Дорофеев Ю.Г., Безбородов Е.Н., Сергеев С.Н. Кинетика механохимической активации стружки алюминиевого сплава Д-16, особенности уплотнения «стружкового» порошка и формирования полученного материала // Изв. вузов. Цветная металлургия. 2003. №5. С. 54-58.
10. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение, 1981. 184 с.

chips D16. *Metallvedenie i termicheskaya obrabotka metallov* [Metallurgy and heat treatment of metals]. 2003, no. 2, pp. 31-33.

2. Dorofeyev Y.G., Sergeenko S.N., Gritsenko, S.V. *Teoriya i tehnologiya proizvodstva poroshkovykh materialov i izdeliy: nauch. tr.* [Theory and technology of powder materials and products: Scientific. tr.]. Novocherkassk: NSTU, 1993, pp. 24-28.
3. <http://www.stroyexpo.com/content/view/256/62/>
4. *Alyuminiy. Metallvedenie, obrabotka i primeneniye alyuminiyevykh spлавov* [Aluminium. Physical metallurgy, processing and use of aluminum alloys]. Moscow: Metallurgy, 1972. 180 p.
5. Voon Kyung Il., Lee Kyung Sub. J. Compressive deformation behavior of nanocrystalline Al-5 at. % Ti alloys prepared by reactive ball milling in H_2 and ultra high-pressure. *Alloys and Compounds*. 2002. 333, no. 1-2, pp. 249-259.

6. Cuevas F.G., Cintas J., Montes J.M., Gallardo J.M. Al-Ti powder produced through mechanical alloying for different times. Report 2 International Electrophoretic Deposition: Fundamentals and Applications, Barga, June, 2005. J. Mater/ Sci/ 2006. 41, no. 24, pp. 8339-8346.
7. http://www.titandioxide.ru/titan_s/sc3/0219.php
8. Gopienko V.G., Smagorinskiy M.E., Grigoriev A.A., Bellavin A.D. *Spechennyye materialy iz alyuminiyevykh poroshkov. Metallurgiya* [Sintered materials of aluminum powder]. Moscow: Metallurgy, 1993, 177 p.
9. Dorofeyev J.G., Bezborodov E.N., Sergeenko S.N. The kinetics of mechano-dynamic activation chip aluminum alloy D-16, features of seals "chip" powder and the formation of the received material. *Izv. vuzov. Tsvetnaya metallurgiya* [Proceedings of Higher Education. Non-ferrous metallurgy]. 2003, no. 5, pp. 54-58.
10. Spiridonov A.A. *Planirovanie eksperimenta pri issledovanii tehnologicheskikh protsessov* [Experiment planning in the study of technological processes]. Moscow: Mechanical engineering, 1981, 184 p.

НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

УДК 539.121.8.04

Каменева А.Л., Сошина Т.О.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ Ti-AL-N, ФОРМИРУЕМЫХ ИМПУЛЬСНЫМ МАГНЕТРОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ ПРИ ПЕРЕМЕННОМ ДАВЛЕНИИ ГАЗОВОЙ СМЕСИ*

Аннотация. Изучено влияние давления газовой смеси на фазовый состав, морфологические особенности поверхности, структурные характеристики и физико-механические свойства пленок на основе Ti-Al-N, формируемых методом импульсного магнетронного распыления. При оптимальном давлении газовой смеси получена поликристаллическая пленка с уникальным комплексом физико-механических свойств.

Ключевые слова: импульсное магнетронное распыление, давление газовой смеси, фазовый состав, микроструктура, физико-механические свойства.

Введение

Современная обрабатывающая промышленность предъявляет высокие требования к характеристикам поверхности режущего и деформирующего инструмента, определяющим его эксплуатационные свойства. Улучшения их можно достичь нанесением защитных поликристаллических пленок с плотной и бездефектной микроструктурой, высокими физико-механическими свойствами, стойкостью к окислению при высоких температурах, низкой склонностью к адгезии с обрабатываемым материалом и минимальной способностью к диффузионному растворению в обрабатываемом материале [1]. Обеспечение перечисленных требований к поликристаллическим пленкам осуществляется выбором метода осаждения и поиском оптимальных технологических параметров процесса их осаждения [2-6]. Одним из перспективных, среди вакуумных ионно-плазменных технологий осаждения, можно выделить метод импульсного магнетронного распыления (ИМР), использующий мощные импульсы малой длительности. Высокая мощность импульса способствует созданию высокоионизированной металлической плазмы, обеспечивая, тем самым, минимальную пористость пленок и хорошую адгезию к подложке, а длительность импульса предохраняет инструментальную подложку от перегрева [3, 4], что является определяющим для сталей с температурой отпуска ($T_{отп}$), не превышающей 573 К. Одной из главных проблем получения поликристаллических пленок остается сложность в прогнозировании их состава и структуры, ввиду мно-

жества факторов, влияющих на свойства получаемой пленки. Одним из наиболее значимых параметров технологического процесса осаждения пленки является давление газовой смеси (давление) [2].

Целью настоящей работы является исследование влияния давления на параметры структуры, фазовый состав, морфологические особенности, физико-механические свойства пленок на основе Ti-Al-N (пленок Ti-Al-N) и оптимизация процесса получения пленки по давлению.

Материалы и методы исследования

В качестве материала тестовых образцов ($12 \times 12 \times 3$ мм) использовали инструментальную сталь X12M и конструкционную коррозионно-стойкую сталь 14X17 с $T_{отп} = 473-503$ К. Подготовка поверхности тестовых образцов (подложки) включала их ионную очистку – нагрев до температуры 493 К. Для увеличения адгезионной прочности пленки к инструментальной стали на нее осаждали подслои из Ti и TiN. Процесс ИМР двух мишеней из титана марки BT-1-00 и алюминия марки A85 проводили при различном давлении P , Па: 0,23, 0,24, 0,25, 0,26 и 0,27.

Рентгеноструктурный анализ пленок Ti-Al-N проводили на дифрактометре ДРОН-4 в $\text{Cu K}\alpha$ излучении при напряжении 30 кВ и токе 20 мА: угловой интервал съемки $2\theta = 30-130^\circ$; шаг $0,1^\circ$; экспозиция в точке 4 с. Отклонение параметров кристаллических решеток (КР) фаз от стехиометрического значения определяли:

$$\Delta a = \frac{a - a_{табл}}{a_{табл}} \cdot 100\% \text{ и } \Delta c = \frac{c - c_{табл}}{c_{табл}} \cdot 100\%.$$

Морфологические особенности поверхности и структуру сформированных пленок изучали на растровом электронном микроскопе BS 300 с приставкой для микроанализа EDAX Genesis 2000. Физико-механические свойства пленок определяли методом наноиндентации в соответствии с DIN EN ISO 14577-1 с использованием измерительной си-

* Работа выполнена в рамках гранта «Разработка технологии получения высокопрочных наноструктурных конструкционных низкоуглеродистых сталей с износостойкими наноструктурированными покрытиями». Госконтракт № 01201274914, Федеральная целевая программа «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы по направлению «Поддержка научных исследований, проводимых научными группами под руководством кандидатов наук по научному направлению «Индустрия наносистем» в области «Получение и обработка функциональных наноматериалов».

стемы FISCHERSCOPE H100C путем математической обработки кривых нагрузки/разгрузки образца. Адгезию пленки оценивали по величине SRC – отношение площади скола пленки ($S_{\text{скола}} = 150$ кгс) к площади отпечатка в плоскости пленки ($S_{\text{отпечатка}}$) (метод разработан в ХФТИ):

$$\text{SRC} = (S_{\text{скола}} / S_{\text{отпечатка}}) \cdot 100\%.$$

Съемку отпечатка алмазного конуса Роквелла производили на универсальном металлографическом микроскопе Альтами MET5, оснащенном системой микроанализа и программным обеспечением.

Результаты эксперимента и обсуждение

Увеличение давления в диапазоне $P = 0,23-0,27$ Па приводит к изменению фазового состава и степени текстурированности пленки Ti-Al-N. С ростом давления изменяется соотношение входящих в состав основных TiN, $\text{Ti}_3\text{Al}_2\text{N}_2$ и дополнительной AlN_{cub} фаз пленки. При минимальном давлении 0,23 Па формируется пленка с максимальной объемной долей фазы TiN, направлением преимущественной кристаллографической ориентации (111) и максимальной степенью текстурированности (рис. 1, табл. 1). Объяснением полученного фазового состава пленки может являться присутствие алюминия в пленке в свободном состоянии в связи с недостаточной энергетической стимуляцией поверхности подложки, необходимой для внедрения атомов Al в решетку TiN [2]. Увеличение давления до 0,27 Па сопровождается изменением соотношения объемных долей основных фаз пленки и фазовым переходом со сменой основной фазы пленки с (111)TiN на (107)Ti₃Al₂N₂.

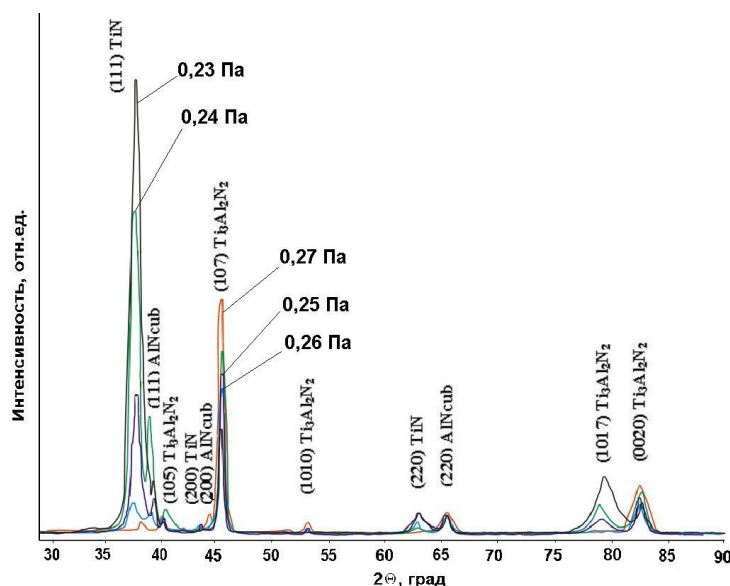


Рис. 1. Сравнительный спектр дифрактограмм участков пленок Ti-Al-N, сформированных ИМП при различном давлении

Уменьшение параметра кристаллической решетки (КР) основной фазы пленки Ti-Al-N вследствие роста давления (см. табл. 1) вызвано разницей атомарных размеров алюминия (0,143 нм) и титана (0,147 нм), внедрением алюминия в решетку TiN и замещением атомов титана. Минимальные искажения параметров КР соответствуют пленкам, сформированным при давлении 0,27 Па (усредненное значение – 0,18%), а максимальные – при давлении 0,23 Па (усредненное значение – 1%). Подобное изменение параметров КР может быть связано как с изменением содержания алюминия в пленках, так и присутствием внутренних напряжений, что подтверждается уширениями пиков основных фаз и разнонаправленными отклонениями положений дифракционных максимумов от табличных значений $2\theta_{\text{табл.}}$.

Таблица 1

Структурные характеристики пленок на основе Ti-Al-N

P, Па	Объемная доля фаз, %			Размер ОКР, нм		Параметры КР			$\beta_{111}^{0111} / \beta_{107}^{0107}$
						a, нм		c, нм	
	TiN	AlN _{cub}	Ti ₃ Al ₂ N ₂	TiN	Ti ₃ Al ₂ N ₂	TiN	Ti ₃ Al ₂ N ₂	Ti ₃ Al ₂ N ₂	
0,23	66	6	28	14,5	11,5	0,4197 -1,10	0,3041 +1,81	2,3524 +0,75	0,56/ 0,36
0,24	48	16	37	7,5	8,5	0,4214 -0,71	0,3026 +1,31	2,3512 +0,69	0,95/ 0,36
0,25	42	7	51	7,5	6,5	0,4183 -1,44	0,3000 +0,44	2,3466 +0,5	0,92/ 0,38
0,26	29	14	57	6,5	6,0	0,4230 -0,33	0,2996 +0,30	2,3454 +0,45	0,85/ 0,39
0,27	10	4	86	5,0	4,5	0,4240 -0,09	0,2991 +0,14	2,3422 +0,31	1,17/ 0,39

Размер областей когерентного рассеяния рентгеновского излучения (ОКР), рассчитанный по дифрактограммам, свидетельствует о том, что сформированные пленки имеют нанокристаллическое строение со средним размером ОКР 4,5-14,5 нм (см. табл. 1). Минимальный размер ОКР соответствуют пленкам с преимущественной кристаллографической ориентацией относительно плоскостей (107) и (111), сформированным при давлении 0,27 Па.

На основании микроскопических исследований установлено, что вне зависимости от давления на поверхности всех осажденных пленок Ti-Al-N формируются единичные 3D образования и дефекты поверхности в виде потери сплошности пленки различной геометрической формы и направленности относительно подложки. При минимальном давлении формируется тонкая, крупноячеистая (размер ячеек 460-770 нм), неравномерная по составу и строению пленка (рис. 2, а) с поверхностными 3D образованиями произвольной формы с глобулярной структурой (14 мкм, рис. 3, а) и протяженными нарушениями сплошности пленки (14,5 мкм, рис. 4, а).

Причинами формирования глобулярной структуры пленки и неравномерности поверхности могли послужить анизотропия скоростей формирования пленки, вызванная неравновесными условиями осаждения, свойственными для ионно-плазменных методов. Формирование ячеистой структуры обусловлено разнородными напряжениями в пленке, что подтверждается изменением положения дифракционных пиков фаз. Дальнейший рост давления приводит к первичному упорядочению пленки с формированием плотной столбчатой структуры и уменьшению размера ячеек (300-500 нм) (снимок не приводится), количества и размеров 3D образований ($\varnothing$ 8 и 5,5 мкм) с упорядоченной зернистой подструктурой (рис. 3, б, в) и локальных несплошностей поверхности пленки (7,5 мкм, рис. 4, б, в). Начальный процесс наноструктурирования пленки начинается

при давлении 0,26 Па и сводится к переходу от поверхностной ячеистой структуры к неравномерной крупнозернистой (размер зерен 180-250 нм, рис. 2, б) и формированию пластинчатой подструктуры 3D образований (рис. 3, г).

При достижении давления 0,27 Па формируется пленка с равномерно зернистой поверхностной структурой (размер зерен 5-45 нм, рис. 2, в), небольшим количеством поверхностных 3D образований (до 5 мкм, рис. 3, д) и единичными локальными несплошностями поверхности (6,5 мкм, рис. 4, д). Формирование зерен протекает непрерывно в направлении, перпендикулярном к поверхности подложки (рис. 3, е). Изучение состояния поверхности одного из 3D образований (рис. 3, д) показало, что оно сформировано в процессе коагуляции мелких образований с аналогичной подструктурой.

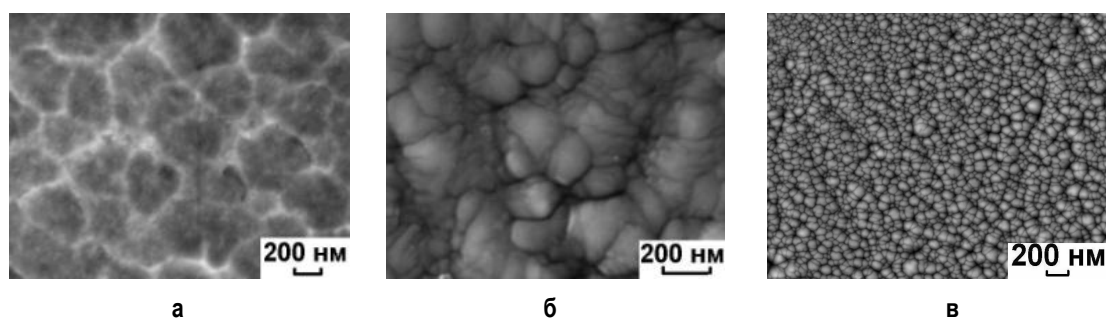


Рис. 2. Микроструктура пленок Ti-Al-N, сформированных ИМР при различном давлении: а – $P = 0,23$ Па; б – $P = 0,26$ Па; в – $P = 0,27$ Па

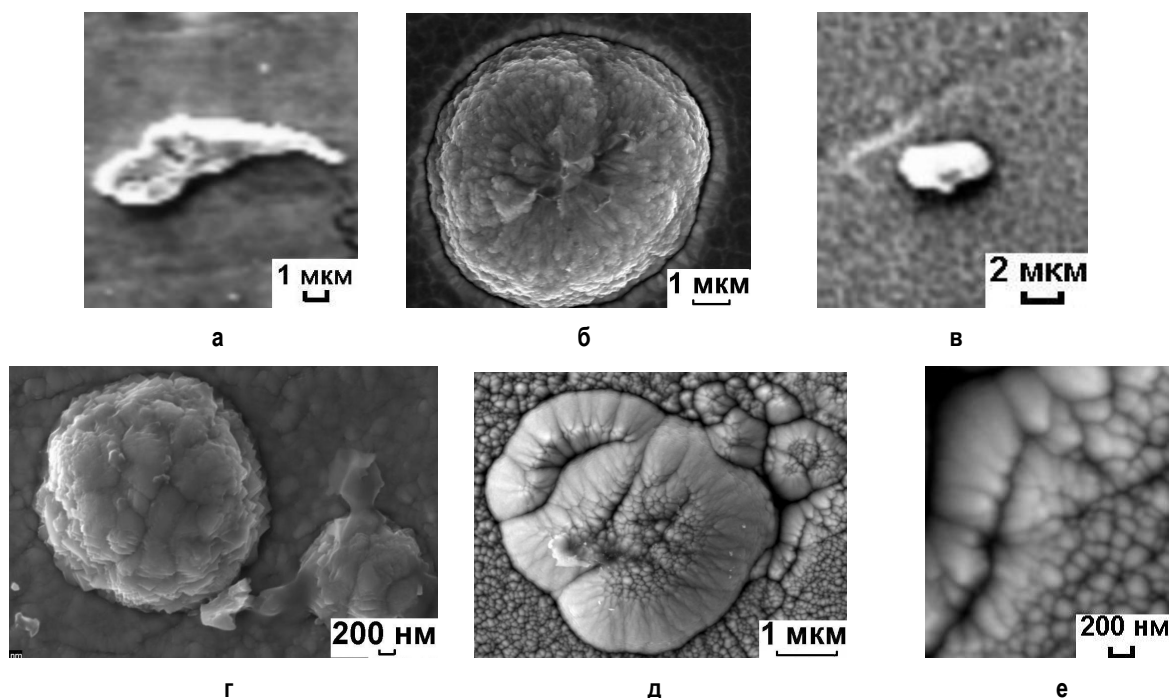


Рис. 3. 3D структурные образования, сформированные ИМР при различном давлении: а – 0,23 Па, max размер 14 мкм; б – 0,24 Па, ~ 8 мкм; в – 0,25 Па, max размер ~ 5,5 мкм; г – 0,26 Па, ~ 3,5 мкм и ~ 2 мкм; д – 0,27 Па, max ~ 5 мкм; е – излом пленки

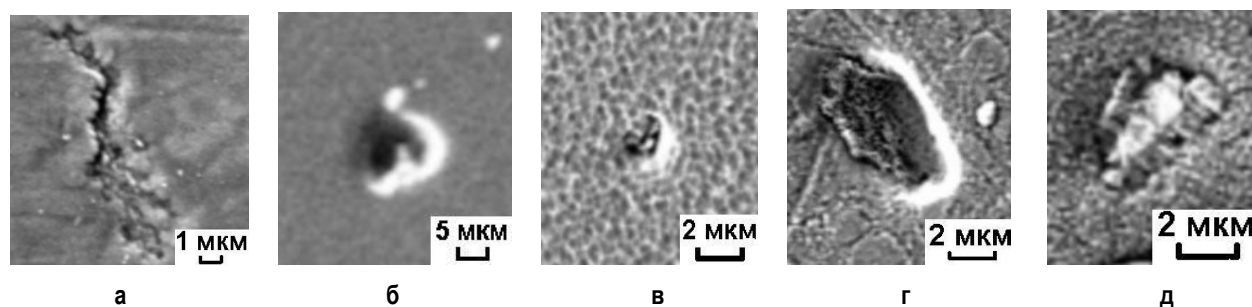


Рис. 4. Дефекты пленок, сформированных ИМП при различном давлении: а – 0,23 Па, max размер 14,5 мкм; б – 0,24 Па, Ø 8,5 мкм; в – 0,25 Па, Ø 2 мкм; г – 0,26 Па, max размер 7,5 мкм; д – 0,27 Па, max размер 6,5 мкм

Анализ результатов механических испытаний пленок и сопоставление их с полученными результатами структурных и рентгеноструктурных анализов (см. табл. 1) показал, что пленки с глобулярной структурой, минимальной объемной долей фазы $Ti_3Al_2N_2$ обладают низкими механическими свойствами и показателями адгезии к подложке (табл. 2). Микротвердость пленки значительно увеличивается при давлении 0,26 Па вследствие первичного упорядочения ее структуры и увеличения в ней объемной доли фазы $Ti_3Al_2N_2$ пленки. Пленки с плотной мелкозернистой структурой и преобладанием в пленке фазы $Ti_3Al_2N_2$ (0,27 Па) имеют лучшие физико-механические характеристики. Высокие значения H/E и W_e (при средних для данных пленок $W_e = 70\%$ [6]) позволят полученным пленкам работать в условиях абразивного износа. Соответствующее максимальной твердости (40,2 ГПа) значение модуля упругости (305,9 ГПа) позволяет подтвердить высокую адгезионную прочность пленки, так как пленки с низким модулем упругости характеризуются минимальными напряжениями на границе пленка/подложка и внутренними напряжениями в системе ввиду лучшего соответствия модулю упругости стальной подложки ($E = 205$ ГПа). Объяснением такого изменения свойств может служить наноэффект, присутствующий при размерах ОКР менее 10 нм.

Таблица 2

Физико-механические характеристики пленок Ti-Al-N

P, Па	Толщина пленки, мкм	H_v , ГПа	E, ГПа	H/E	H^3/E^2	W_e , %	SRC, %
0,23	1,5	14,4	202,5	0,071	0,07	55	104,5
0,24	2,0	22,2	314,0	0,071	0,11	62	0
0,25	2,2	23,2	322,8	0,072	0,12	64	0
0,26	2,5	25,3	334,1	0,076	0,15	66	0
0,27	3,0	25,7	294,7	0,087	0,20	69	0

Примечание. E – модуль упругости; H/E – стойкость пленки к упругой деформации; H^3/E^2 – стойкость пленки к пластической деформации; W_e – упругое восстановление; SRC – показатель адгезии пленки к подложке.

Низкие механические характеристики пленки с глобулярной структурой, осажденной при давлении 0,23 Па, объясняются низкой объемной долей тройной

фазы $Ti_3Al_2N_2$, неравномерностью строения пленки, шероховатостью ее поверхности. Многократное увеличение микротвердости может быть вызвано рядом причин: уменьшением размера зерен до 5-45 нм, плотности пленки и максимальной объемной долей гексагональной фазы $Ti_3Al_2N_2$.

Выводы

Давление оказывает существенное влияние на структуру, фазовый состав, адгезионные и физико-механические свойства пленок на основе Ti-Al-N, формируемых ИМП. Увеличение давления приводит к фазовым превращениям с изменением соотношения объемных долей фаз, сменой основной фазы с кубической (111) TiN на гексагональную (107) $Ti_3Al_2N_2$ и увеличением степени текстурированности пленки.

С повышением давления поверхностная структура пленки на основе Ti-Al-N изменяется от неравномерной крупноячеистой до равномерно зернистой. В оптимальных технологических условиях формируется поликристаллическая пленка на основе Ti-Al-N с минимальными микронапряжениями, максимальной объемной долей гексагональной (107) $Ti_3Al_2N_2$ фазы, максимальной степенью текстурированности пленки, мелкозернистой поверхностной структурой, минимальным размером ОКР, высокими физико-механическими и адгезионными свойствами.

Полученная поликристаллическая пленка на основе Ti-Al-N рекомендована для эксплуатации пленок в условиях абразивного износа, вызванного высокими тепловыми нагрузками.

Список литературы

1. Santana A.E., Karimi A., Derflinger V.H., Schütze A. Thermal treatment effects on microstructure and mechanical properties of TiAlN thin films // Tribology Letters. 2004. Vol. 17. No. 4. P. 689-696.
2. Musil J., Hruby H. Superhard nanocomposite $Ti_{1-x}Al_xN$ films prepared by magnetron sputtering // Thin Solid Films. 2000. Vol. 365. P. 104-109.
3. Barshilia H.C., Yogesh K., Rajam K.S. Deposition of TiAlN coatings using reactive bipolar-pulsed direct current unbalanced magnetron sputtering // Vacuum. 2009. Vol. 83. P. 427-434.
4. Astrand M., Selinder T.I., Sjöstrand M.E. Deposition of $Ti_{1-x}Al_xN$ using bipolar pulsed dual magnetron sputtering // Surface and Coatings Technology. 2005. Vol. 200. Iss. 1-4. P. 625-629.
5. Структурообразование пленок Ti-Al-N под влиянием температурных условий их формирования / Каменева А.Л., Карманов В.В., Сошина Т.О., Каменева Д.В., Винокуров Н.В. // Технология металлов. 2012. №10. С. 35-44.
6. Ipaz L., Caicedo J.C., Esteve J., Espinoza-Beltran F.J., Zambrano G. Improvement of mechanical and tribological properties in steel surfaces by using titanium-aluminum-titanium-aluminum nitride multilayered system // Applied Surface Science. 2012. Vol. 258. Iss. 8. P. 3805-3814.

Сведения об авторах

Каменева Анна Львовна – канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Россия. Тел.: (3422) 224-24-05. E-mail: kameneva@pstu.ru.

Сошина Татьяна Олеговна – зав. лабораторией, Лысьвенский филиал ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Россия. Тел.: (34249) 6-10-79. E-mail: soshtanya@rambler.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

PHISICO-MECHANICAL PROPERTIES OF FILMS ON THE TI-AL-N BASIS, DEPOSITED BY PULSED MAGNETRON SPUTTERING UNDER THE INFLUENCE OF VARIABLE GAS PRESSURE

Kameneva Anna Lvovna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, National Research Perm Polytechnic University, Russia. Phone: (3422) 224-24-05. E-mail: kameneva@pstu.ru.

Soshina Tatyana Olegovna – Head laboratory, Lysvensky branch, National Research Perm Polytechnic University, Russia. Phone: (34249) 6-10-79. E-mail: soshtanya@rambler.ru.

Abstract. The effect of the gas mixture pressure on the phase composition, surface morphology, structural characteristics and physicochemical properties of films on the Ti-Al-N basis, deposited by pulsed magnetron sputtering has been investigated. Polycrystalline film with a unique set of physical and mechanical properties has been obtained under the optimum pressure of the gas mixture.

Keywords: pulsed magnetron sputtering, gas mix pressure, phase structure, a microstructure, physicochemical properties.

References

1. Santana A.E., Karimi A., Derflinger V.H., Schütze A. Thermal treatment effects on microstructure and mechanical properties of TiAlN thin films. *Tribology Letters*. 2004, vol. 17, no. 4, pp. 689-696.
2. Musil J., Hruby H. Superhard nanocomposite Ti_{1-x}Al_xN films prepared by magnetron sputtering. *Thin Solid Films*. 2000, vol. 365, pp. 104-109.
3. Barshilia H.C., Yogesh K., Rajam K.S. Deposition of TiAlN coatings using reactive bipolar-pulsed direct current unbalanced magnetron sputtering. *Vacuum*. 2009, vol. 83, pp. 427-434.
4. Astrand M., Selinder T.I., Sjöstrand M.E. Deposition of Ti_{1-x}Al_xN using bipolar pulsed dual magnetron sputtering. *Surface and Coatings Technology*. 2005, vol. 200, iss. 1-4, pp. 625-629.
5. Kameneva A.L., Karmanov V.V., Soshina T.O., Kameneva D.V., Vinokurov N.V. Structure formation of films Ti-Al-N under the influence of temperature conditions of their formation. *Technology of Metals*. 2012, no. 10, pp. 35-44.
6. Ipaz L., Caicedo J.C., Esteve J., Espinoza-Beltran F.J., Zambrano G. Improvement of mechanical and tribological properties in steel surfaces by using titanium–aluminum/titanium–aluminum nitride multilayered system. *Applied Surface Science*. 2012, vol. 258, iss. 8, pp. 3805-3814.

СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

УДК 621.778.08

Харитонов В.А., Петров И.М.

ОЦЕНКА И НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ БУНТОВОЙ АРМАТУРНОЙ СТАЛИ

Аннотация. В статье представлена оценка и приведены направления повышения конкурентоспособности бунтовой арматурной стали. Для оценки использована методика определения индекса конкурентоспособности. Проведено сравнение уровня требований отечественных и зарубежных стандартов на арматурную сталь. Также рассмотрены варианты современных технологий производства бунтовой арматурной стали, проведена оценка их эффективности с использованием закона экономии времени и даны рекомендации по повышению их эффективности.

Ключевые слова: сталь арматурная, конкурентоспособность, оценка конкурентоспособности, анализ технологии, технологические процессы, выбор технологии.

Конкурентоспособность можно рассматривать как способность субъекта или объекта успешно состязаться со своими конкурентами за лидерство в конкретное время на конкретном рынке в конкретной ситуации [1]. В современном мире фактор высокого качества при низкой цене является реальным средством повышения конкурентоспособности товаров [2].

Конкуренция на строительном рынке порождает необходимость снижения себестоимости и сокращения сроков строительства, для чего нужны эффективные строительные материалы, обеспечивающие надежность и долговечность сооружений. Основным композитным строительным материалом сегодня остается железобетон. Арматурная сталь является важным армирующим компонентом железобетона [3].

Целью статьи является оценка конкурентоспособности бунтовой арматурной стали с использованием методики определения индекса конкурентоспособности, а также оценка различных вариантов технологических процессов производства арматурной стали.

В европейской и международной практике проектирования и строительства в соответствии с международным стандартом EN1992-1 Eurocode2 для арматуры, используемой в ненапряженном железобетоне, для каждого класса прочности включены три категории пластичности арматуры: А, В и С. Категория пластичности С соответствует сейсмостойкой арматурной стали. Показатель полного относительного удлинения при максимальном напряжении A_{gt} для указанных категорий соответственно составляет $\geq 2,5$, ≥ 5 и $\geq 7,5\%$ при классе прочности не менее 500 Н/мм^2 , что обеспечивает экономию металла. Также необходимо высокое сцепление с бетоном, характеризующееся относительной площадью смятия поперечных ребер профиля f_R (по EN1992-1 f_R имеет значение 0,035 до 0,056 в зависимости от диаметра). Сцепление зависит главным образом от геометрических размеров профиля. Формат поставки арматурной стали – важная экономическая составляющая для потребителей. В мировой практике на

смену формата бухт горячекатаного проката приходит формат бухт рядной смотки.

В России бунтовую арматурную сталь выпускают по требованиям ГОСТ 6727-80, ГОСТ Р 52544-2006, ГОСТ 5781-82, а также технических условий. Примерами зарубежных стандартов могут служить DIN 488 часть 1:1984 (Германия), ASTM A 615 (США), BS 4449:2005 (Великобритания).

В отечественных стандартах СТО АСЧМ 7-93 и ГОСТ Р 52544-2006 регламентируются свойства, соответствующие лишь категории А по Eurocode 2, то есть $A_{gt} \geq 2,5\%$. Категории В и С, то есть нормирование высокопластичного арматурного проката, в отечественных стандартах не предусматриваются. В лучшем случае отечественный арматурный прокат класса А500С по этим документам соответствует классу В500А по EN 10080:2005, то есть уровню холоднодеформированного проката [4-6].

Оценки конкурентоспособности продукции – важнейший этап деятельности предприятия по созданию и производству продукции, соответствующей требованиям и ожиданиям потребителей. Для проведения оценки конкурентоспособности продукции разработаны многочисленные методики, использующие различные подходы и показатели. Главное, чтобы эти показатели были понятны потребителю, так как именно они являются предметом конкуренции [7].

Общая проблема большинства методов оценки конкурентоспособности продукции – сложность введения разнородных абсолютных стоимостных, натуральных, физико-технических, эргономических показателей к однозначному критерию эффективности [8].

Конкурентоспособность продукции в наибольшей степени определяется следующими показателями [9]: F – показатель, характеризующий наличие функциональных и потребительских свойств изделия, K – показатель уровня качества этих свойств, C – показатель потребительской стоимости изделия.

Индекс конкурентоспособности позволяет однозначно оценивать и прогнозировать экономичность и

качество продукции на любом уровне управления и стадиях её создания [10].

Индекс конкурентоспособности можно определить по зависимости

$$I_Q = \alpha_1 F + \alpha_2 K + \alpha_3 C,$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – весовые коэффициенты F, K, C соответственно при выполнении условия $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$.

Значения весовых коэффициентов зависят от потребностей покупателей. Так, экономный покупатель чувствителен к цене, и для него α_3 будет иметь наибольшее значение. Если покупатель ориентирован на качественный товар, то для него более значим коэффициент α_2 . Если для покупателя важен имидж товара с широким набором свойств F , то в этом случае α_1 будет наибольшим. Преобладание качества товара K или стоимостных показателей C зависит от типа конкурентного рынка [9].

Основным назначением показателя функциональных и потребительских свойств (F) является фиксация наличия в оцениваемом товаре множества приведенных полезных свойств. Наличие того или иного свойства фиксируется в двоичном виде: изделие обладает некоторым свойством или нет, безотносительно к глубине его технической проработки. Для определения показателя F необходимо определить расширенное множество эталонных показателей качества для оцениваемых товаров. Субъект оценки из расширенного множества функциональных показателей формирует свое множество показателей, включающее только те показатели, по которым он желает оценить приобретаемый товар и ранжирует их по степени значимости и присваивает каждому показателю коэффициент значимости. В одном случае это может быть весь набор показателей товара на уровне эталонного товара, в другом случае – это только часть этих свойств, соответствующая конкретным целям покупки.

Определение численного значения показателя функционального назначения рассматриваемого товара проводится по следующей зависимости [11]:

$$F = \beta_1 F_1 + \beta_2 F_2 + \dots + \beta_e F_e,$$

где F_j – значения локальных показателей из выбранного множества; β_j – степень значимости локальных показателей.

Выбранные для оценки конкурентоспособности стандарты и свойства представлены в табл. 1.

Для оценки показателей конкурентоспособности эксплуатационным показателям качества ($\sigma_e, \delta_5, \text{Agt}$ и $C_{\text{экв}}$) были присвоены более высокие значения весовых коэффициентов β , чем остальным (табл. 2).

Таблица 1

Требования к свойствам бунтовой арматурной стали в различных стандартах

Стандарт	σ_m , Н/мм ²	σ_e , Н/мм ²	δ_5 , %	Agt, %	$C_{\text{экв}}$	Лин. плот.	Откл. лин. плот.	f_R
ГОСТ 6727-80	1	1	1	0	0	1	0	0
ТУ 14-170-217-94	1	1	1	0	0	1	1	0
ТУ 14-1-5166-92	1	1	1	0	0	1	0	0
ТУ 14-1-5254-94	1	1	1	0	0	1	1	1
СТО АСЧМ 7-93	1	1	1	1	1	1	1	1
ГОСТ Р 52544-2006	1	1	0	1	1	1	1	1
ТУ 14-1-5544-2006	1	1	0	1	1	1	1	0
EN 10080:2009	1	1	1	1	1	1	1	1
ISO/DIS 6935-2	1	1	1	1	1	1	1	0
DIN 488. Часть 1:1984	1	1	1	0	0	1	0	1
ASTM A 615	1	1	1	0	1	1	1	0
BS 4449-97	1	0	1	1	1	1	1	0

Таблица 2

Значения весовых коэффициентов

Коэф-фициент	σ_t , Н/мм ²	σ_b , Н/мм	δ_5 , %	Agt, %	$C_{\text{экв}}$	Лин. плот.	Откл. лин. плот.	f_R
β	0,10	0,15	0,15	0,15	0,15	0,10	0,10	0,10

Результаты оценки представлены в табл. 3.

Таблица 3

Оценка функциональных и потребительских свойств арматурной проволоки

Стандарт	Значение F
ГОСТ 6727-80	0,50
ТУ 14-1-5166-92	0,50
ТУ 14-170-217-94	0,60
DIN 488. Часть 1:1984	0,60
ТУ 14-1-5544-2006	0,75
ASTM A 615	0,75
BS 4449-97	0,75
ТУ 14-1-5254-94	0,85
ГОСТ Р 52544-2006	0,85
ISO/DIS 6935-2	0,90
СТО АСЧМ 7-93	1,00
EN 10080:2009	1,00

Уровень отечественных стандартов уступает уровню зарубежных стандартов. Даже те отечественные стандарты, которые регламентируют тот же набор свойств, что и зарубежные, имеют более низкие требования к этим свойствам. Поэтому необходимо разрабатывать новые стандарты, соответствующие западным или гармонизировать с ними действующие стандарты.

Кроме того, для получения конкурентоспособной бунтовой арматуры необходимо разработать и реализовать в промышленных условиях современное про-

изводство, элементами которого являются передовая технология с соответствующей материальной базой и персонал. Именно они определяют основные условия производства и служат базой качества. Если предприятие в процессе создания продукции использует передовую технологию и имеет соответствующую ей материальную базу и квалифицированный персонал, заинтересованный в результатах своего труда, значит, имеется благоприятная база качества. Она создает возможность улучшения качества продукции. Для реализации возможностей, создаваемых базой качества, необходимо четко организовать управление качеством. Отсутствие необходимой материальной базы, устаревшая технология, недостаточная мотивация или квалификация персонала приводят к тому, что процесс управления качеством будет проходить вхолостую, без улучшения качества продукции [12]. Представленная модель качества приведена на рисунке.



Модель качества

Производственный процесс представляет собой систему, выходом которой является готовая продукция с требуемым набором качественных показателей, а входом — заготовка. Реализацию процесса осуществляют основные операторы: люди (специалисты) и технические системы (технологическое оборудование). Эффективность процесса обеспечивают обобщенные операторы: внутренние и внешние условия; специальная информация; управление и регулирование. Основой производственного процесса является технологический процесс (технология), состоящий из операций основных, вспомогательных и операций обслуживания.

Бунтовая арматура производится в прокатном и метизном переделах черной металлургии. В первом варианте осуществляется горячая прокатка на прокатных или мелкосортных станах. Нанесение периодического профиля осуществляется в чистовой клети с

двух- или многовалковыми чаще всего калибрами. На ручьях валков, образующих калибр, нарезаются впадины требуемой формы и размеров. В качестве заготовки для профилирования используется фасонная заготовка, прокатываемая в предчистовой клети. Механические свойства определяются химическим составом заготовки и структурой, формируемой в процессе прокатки и управляемого охлаждения на участке между чистовой клетью и намоточным устройством.

Технология производства бунтовой арматуры, применяемая в метизном переделе, построена на получении круглой заготовки (проволоки) из катанки или мелкосортной бунтовой стали и нанесением на неё профиля. Заготовка может иметь различную степень готовности: разный уровень прочности, различаться по состоянию поставки (горячекатаная или холоднодеформированная заготовка), иметь гладкую поверхность или периодический профиль. На качество готовой арматурной стали влияют состав, структура, свойства и напряженное состояние заготовки. С целью минимизации затрат целесообразно использовать заготовку из низкоуглеродистой стали с минимальной неравномерностью свойств, поскольку легирование и термомеханическое упрочнение не только удорожают, но и усложняют производственный процесс. Помимо этого, термомеханическое упрочнение создаёт в заготовке неблагоприятное напряженно-деформированное состояние.

Для изготовления проволоки используют волочение в монолитных или роликовых волоках, холодную (теплую) прокатку в двух- или многовалковых калибрах. Профилирование осуществляется чаще всего в роликовых волоках или прокатных клетях. Профилирующие калибры могут быть как двух-, так и многовалковыми.

В последнее время за рубежом для получения бунтовой арматуры применяется способ «Stretching», при котором горячекатаная арматурная сталь периодического профиля на специальных установках подвергается растяжению в холодном состоянии, совмещенным с изгибом [13].

Таким образом, основной операцией в применяемых в настоящее время технологических процессах изготовления бунтовой арматурной стали является способ ОМД, с технологической точки зрения характеризуемый следующими показателями [14]:

1. Способ подвода энергии в очаг деформации.
2. Механическая схема деформации.
3. Очаг деформации (структура, поверхностный фактор, масштабный фактор, схема пластического течения, контактные условия).
4. Температурно-скоростные условия.
5. Количество и сложность вспомогательных операций, необходимых для реализации способа.
6. Технологический инструмент.
7. Оборудование.

С целью выбора рационального технологического процесса изготовления бунтовой арматуры был проведен анализ следующих основных схем:

- 1) технология, основанная на волочении в монолитной волоке;

- 2) технология, основанная на волочении в роликовой волоке;
- 3) технология, основанная на холодной прокатке;
- 4) технология, основанная на тёплой прокатке;
- 5) технология, основанная на волочении термоупрочнённой заготовки;
- 6) технология, основанная на горячей прокатке;
- 7) технология, основанная на профилировании термоупрочнённой катанки;
- 8) способ «Stretching».

Оценка эффективности технологического процесса была проведена по затратам времени с использованием следующей зависимости [15]:

$$ВПП = \frac{ПТ + ЖТ + БТ}{П_c} \Rightarrow \min,$$

где ВПП – время производственного процесса; ПТ, ЖТ и БТ – сумма затрат времени прошлого, живого и будущего труда соответственно; P_c – комплекс свойств арматурной стали (за базу были взяты требования е Eurocode2).

Методика расчета приведена в работе [16], результаты – в табл. 4.

Таблица 4

Эффективность технологий производства арматурной стали

Процесс	ВПП
Волочение	27,5
Роликовое волочение	20,0
Холодная прокатка	17,5
Тёплая прокатка	8,0
Волочение термоупрочнённой заготовки	27,5
Профилирование заготовки	22,5
Горячая прокатка	13,3
«Stretching»	7,0

Анализ результатов, приведенных в табл. 4, показывает, что из всех рассмотренных технологических процессов конкурентоспособную бунтовую арматуру можно производить, используя теплую прокатку и способ «Stretching». Наименьшую эффективность имеют технологические процессы, построенные на применении волочения в монолитных волоках.

Выводы

1. Отечественная арматурная сталь уступает зарубежным аналогам по уровню свойств, прежде всего пластических, что требует повышения уровня российских стандартов до мирового.

Сведения об авторах

Харитонов Вениамин Александрович – канд. техн. наук, проф. кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: (3519) 29-84-82. E-mail: petrov.mgtu@gmail.com.

Петров Игорь Михайлович – аспирант кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: (3519) 29-84-82. E-mail: petrov.mgtu@gmail.com.

2. Для повышения конкурентоспособности отечественной бунтовой арматурной стали необходимо совершенствовать существующие технологии и разрабатывать новые, позволяющие получать арматурную сталь, соответствующую современным мировым требованиям.

3. Большое влияние на конкурентоспособность арматурной стали оказывает эффективность технологического процесса. Расчеты коэффициентов затрат времени показали, что наибольшую эффективность имеют технологические процессы, основанные на тепловой прокатке, и способ «Stretching», а наименьшую – основанные на волочении в монолитных волоках.

4. Способ «Stretching» целесообразно применять для производства арматурной стали диаметрами свыше 6,0 мм, а теплую прокатку – для арматуры диаметрами 3,0-6,0 мм.

Список литературы

1. Фатхутдинов Р.А. Ориентация на конкурентоспособность // Стандарты и качество. 2007. №12. С. 79-83.
2. Разработка и реализация конкурентоспособных технологий производства низкоуглеродистой арматурной проволоки в условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ» / Носов А.Д., Носков Е.П., Семенов В.Е. и др. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2008. 107 с.
3. Дорохин П.С., Харитонов В.А. Прогресс в структуре потребления арматурного проката диаметром до 18 мм неизбежен // Стройматериалы. 2012. №3. С. 14-23.
4. Аникеев В.В., Харитонов В.А. Арматура нуждается в унификации требований // Металлоснабжение и сбыт. 2010. №10. С. 60-65.
5. Перспективы производства высокопрочной стальной арматуры из высокоуглеродистых марок стали / Чукин М.В., Гун Г.С., Корчунов А.Г., Полякова М.А. // Черные металлы. 2012, дек. С. 8-15.
6. Харитонов В.А., Петров И.М. Анализ и направления развития процессов производства низкоуглеродистой бунтовой арматурной стали // Обработка сплошных и слоистых материалов: межвуз. сб. науч. тр. / под ред. проф. М.В. Чукина. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. Вып. 38. С. 31-38.
7. Назаренко В.В. Оценка конкурентоспособности как снова планирования // Стандарты и качество. 2006. №8. С. 72-77.
8. Кочетов В.В. Методы оценки конкурентоспособности продукции и производства // Стандарты и качество. 2006. №6. С. 62-64.
9. Шестопал Ю.Т., Щетинина Н.Ю. Качество и конкурентоспособность // Стандарты и качество. 2010. № 2. С. 62-65.
10. Кочетов В.В. Методы оценки конкурентоспособности продукции и производства // Стандарты и качество. 2006. №7. С. 88-91.
11. Коротков Э.М., Шестопал Ю.Т., Дорофеев В.Д. Конкурентные позиции бизнеса: монография. М.: ИНФРА-М, 2003. 261 с.
12. Огвоздин В.Ю. Модель качества // Стандарты и качество. 2006. №1. С. 63-64.
13. Харитонов В.А., Иванцов А.Б., Лаптева Т.А. Обработка проволоки растяжением: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. 162 с.
14. Харитонов В.А. Классификация способов ОМД по технологическим признакам при производстве проволоки // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. С. 49-58.
15. Фатхутдинов Р.А. Стратегический маркетинг: учебник. М.: ЗАО «Бизнес-школа «Интел-Синтез», 2000. 640 с.
16. Харитонов В.А., Петров И.М. Выбор эффективных технологических процессов производства низкоуглеродистой бунтовой арматуры // Техника и технология: новые перспективы развития: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конференции. М.: Изд-во «Спутник+», 2013. С. 18-21.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

ASSESSMENT AND WAYS FOR COMPETITIVENESS INCREASING OF COIL REINFORCING STEEL

Kharitonov Veniamin Aleksandrovich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: (3519) 29-84-82. E-mail: petrov.mgtu@gmail.com.

Petrov Igor Mikhailovich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: (3519) 29-84-82. E-mail: petrov.mgtu@gmail.com.

Abstract. The assessment and ways for competitiveness increasing of coil reinforcing steel article are presented in this article. The method of competitiveness index determination was used for the assessment. The comparison of the national and foreign standard requirements level for reinforcing steel has been performed. The variants of modern methods of coil reinforcing steel production have been examined; their effectiveness assessment has been made with the use of the time-saving law and recommendations on their efficiency improving were given.

Keywords: reinforcing steel, competitiveness, competitiveness assessment, analysis of the technology, engineering processes, choice of technology.

References

1. Fatkhutdinov R.A. Orientation on the competitiveness. *Standarty i kachestvo* [Standards and Quality]. 2007, no. 12, pp. 79-83.
2. Nosov A.D., Noskov E.P., Semenov V.E. and other. *Razrabotka i realizatsiya konkurentosposobnykh tekhnologiy proizvodstva nizkouglerodistoy armaturnoy provoloki v usloviyakh OAO «MMK-METIZ»* [Development and implementation of competitive low-carbon technologies reinforcing wire at JSC «MMK-METIZ»]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2008, 107 p.
3. Dorohin P.S., Kharitonov V.A. Progress in the structure of consumption of rebar with diameter up to 18 mm is inevitable. *Stroymetall* [Stroymetall]. 2012, no. 3, pp. 14-23.
4. Anikeyev V.V., Kharitonov V.A. Reinforcement need to harmonize requirements. *Metallosnabzhenie i sbyt* [Metal Supply and Sales], 2010, no. 10, pp. 60-65.
5. Chukin M.V., Gun G.S., Korchunov A.G., Polyakova M.A. Prospects of production of high-carbon steel, high-strength steel grades. *Chernye metally* [Ferrous metals]. December, 2012, pp. 8-15.
6. Kharitonov V.A., Petrov I.M. Analysis and directions of development of processes of production of low-carbon of coil reinforcing steel. *Obrabotka sploshnykh i sloistykh materialov: mezhvuz. sb. nauch. tr.* [Treatment of solid and laminated materials: Interuniversity collection of scientific papers]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2012, iss. 38, pp. 31-38.
7. Nazarenko V.V. Evaluation of competitiveness as basis of planning. *Standarty i kachestvo* [Standards and Quality]. 2006, no. 8, pp. 72-77.
8. Kochetov V.V. Methods for assessing the competitiveness of products and production. *Standarty i kachestvo* [Standards and Quality]. 2006, no. 6, pp. 62-64.
9. Shestopal Y.T., Shchetinina N.Y. Quality and competitiveness. *Standarty i kachestvo* [Standards and Quality]. 2010, no. 2, pp. 62-65.
10. Kochetov V.V. Methods for assessing the competitiveness of products and production. *Standarty i kachestvo* [Standards and Quality]. 2006, no. 7, pp. 88-91.
11. Korotkov E.M., Shestopal Y.T., Dorofeyev E.D. *Konkurentnye pozitsii biznesa: monografiya* [The competitive position of the business]. Moscow: INFRA-M, 2003, 261 p.
12. Ogvozdin V.Y. Quality Model. *Standarty i kachestvo* [Standards and quality]. 2006, no. 1, pp. 63-64.
13. Kharitonov V.A., Ivancov A.B., Laptev T.A. *Obrabotka provoloki rastyazheniem: monografiya* [Processing of wire tension]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2012, 162 p.
14. Kharitonov V.A. Classification methods for metal forming technology featured in the production of wire. *Modelirovanie i razvitie protsessov obrabotki metallov davleniem* [Simulation and development of metal forming processes]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2012, pp. 49-58.
15. Fatkhutdinov R.A. *Strategicheskij marketing* [Strategic Marketing]. Moscow: ZAO «Business School» Intel-Synthesis, 2000, 640 p.
16. Kharitonov V.A., Petrov I.M. Choosing effective manufacturing processes mild low-carbon coil reinforcing steel. *Tekhnika i tekhnologiya: novye perspektivy razvitiya: materialy VIII Mezhdun. nauch.-prakt. konferentsii* [Engineering and technology: new prospects: Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference]. Moscow: Publishing House «Sputnik+» 2013, pp. 18-21.

НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ

УДК 621.822.83

Родионов Н.А., Сотников А.Л., Журба В.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНЕРЦИОННЫХ НАГРУЗОК НА НАГРУЖЕНИЕ ШАРНИРНО-РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА КАЧАНИЯ СОРТОВОЙ МНЛЗ

Аннотация. Приведены результаты исследования влияния инерционных нагрузок на параметры нагружения шарниров, опор и привода шарнирно-рычажного механизма качания кристаллизатора сортовой машины непрерывного литья заготовок. В ходе исследования установлено, что основными причинами возникновения инерционных нагрузок являются частота качания кристаллизатора и статическая неуровненность механизма качания. Путем математического моделирования получены зависимости нагружения элементов механизма качания от частоты качания кристаллизатора и давления воздуха в уравнивающих пневматических амортизаторах, которые необходимо учитывать при настройке механизма качания кристаллизатора в производственных условиях.

Ключевые слова: МНЛЗ, механизм качания, сила инерции, статическая неуровненность, сила реакции, нагружение, пневматический амортизатор.

В настоящее время основная часть получаемой на металлургических предприятиях стали разливается на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Поэтому большое значение приобретает оптимизация конструкции основных узлов МНЛЗ, повышение их срока службы и производительности.

Сотрудники Донецкого национального технического университета уже более 10 лет занимаются вопросами исследования оборудования МНЛЗ [1-24]. В рассматриваемых вопросах и проблемах важное место отводится такому ключевому узлу, как кристаллизатор, а также механизму качания кристаллизатора (МКК), обуславливающему важнейшие технологические параметры непрерывного литья заготовок.

На сортовых МНЛЗ широкое распространение получило использование конструкции шарнирно-рычажного МКК, показанной на рис. 1. Такой МКК представляет собой совокупность пары шарнирных четырехзвенников, первый из которых передает движение от вала 1 двигателя привода к нижнему коромыслу 3, а второй – от коромысла 3 и дополнительного верхнего коромысла 4 к столу качания 5 с установленным на нем кристаллизатором 6.

Особенностью данного типа МКК, является то, что статические и инерционные характеристики выходного звена (стола качания с кристаллизатором) на порядок превышают соответствующие аналогичные характеристики остальных передаточных звеньев, что, в совокупности с возвратно-вращательным режимом движения кристаллизатора относительно центра кривизны радиальной МНЛЗ, обуславливает высокое переменное нагружение шарниров, опор и привода данной механической системы. Результатом этого является ускоренный специфический износ подшипников МКК, негативно влияющий на параметры колебательного движения кристаллизатора, и частые выходы из строя приводного эксцентрикового вала (см. рис. 1, поз. 1) [9, 22, 24], приводящие к аварийному прекращению непрерывной разливки стали на МНЛЗ.

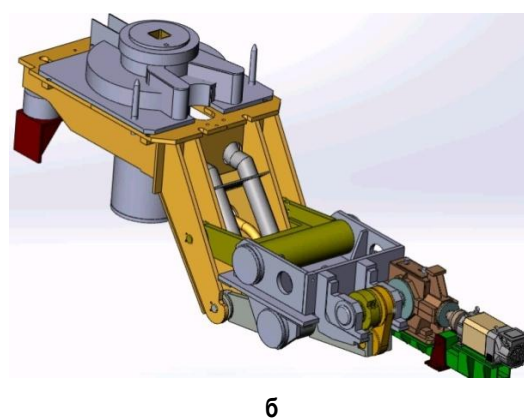
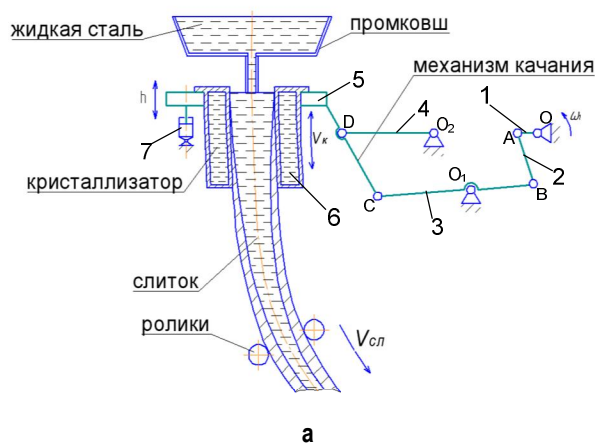


Рис. 1. Кинематическая схема (а) и трехмерная модель (б) МКК конструкции ЧАО «Новокраматорский машиностроительный завод» (Украина): 1 – эксцентриковый вал; 2 – шатун; 3 – нижнее коромысло; 4 – верхнее коромысло; 5 – стол качания; 6 – кристаллизатор; 7 – уравнивающее устройство

Изменение параметров нагружения МКК осуществляется при помощи настройки уравнивающих устройств, которая, однако, выполняется опытным путем по контролю изменения параметров вибрации стола качания [9, 17, 19], при работе МКК в режиме холостого хода, что снижает общую эффективность настройки. Вместе с тем, отсутствует теоретически обоснованная информация о влиянии инерционных нагрузок, возникающих в звеньях МКК и зависящих от частоты качания кристаллизатора, а также от статической неуравновешенности механизма качания на параметры нагружения его шарниров (опор) и привода.

Таким образом, целью настоящей работы ставится исследование влияния инерционных нагрузок и усилия уравнивающих устройств на параметры нагружения шарниров (опор) и привода МКК.

В высоконагруженных шарнирно-рычажных механизмах, как правило, стремятся устранить статическую неуравновешенность, что позволяет исключить либо снизить негативное воздействие сил инерции звеньев [24]. Степень статической неуравновешенности может быть определена траекторией общего центра масс механизма за цикл его работы, характеризующей изменение главного вектора сил инерции и зависящей от эксцентриситета ведущего звена – эксцентрикового вала (рис. 2).

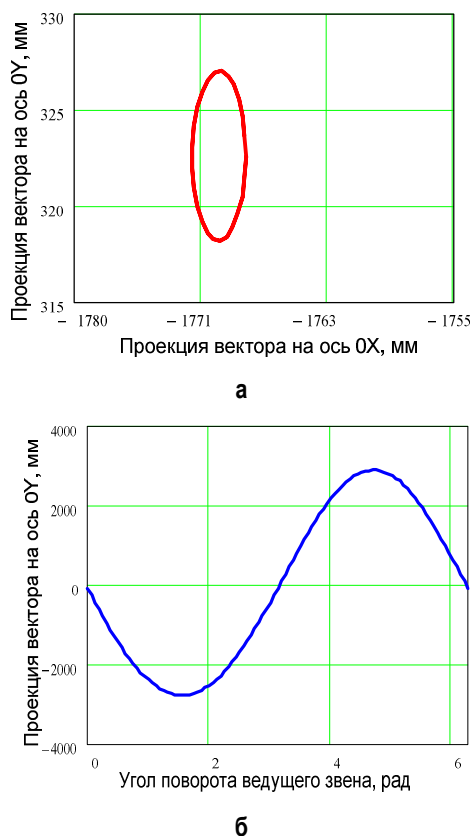


Рис. 2. Траектория перемещения центра масс механизма (а) и соответствующее ему изменение главного вектора сил инерции (б) при эксцентриситете ведущего звена 5 мм

В случае рассматриваемой конструкции шарнирно-рычажного МКК выполнение статического уравнивания затруднено значительной удаленностью общего центра масс от основной группы звеньев механизма, что требует установки массивных противовесов в нижней части стола качания и на опорной части верхнего рычага (по результатам расчета массой 1340 и 2850 кг соответственно). Таким образом, компенсацию возникающих в МКК сил инерции в звеньях целесообразно производить введением в механизм упругих связей [11], учитывая необходимость их регулировки при изменении частоты качания кристаллизатора (рис. 3).

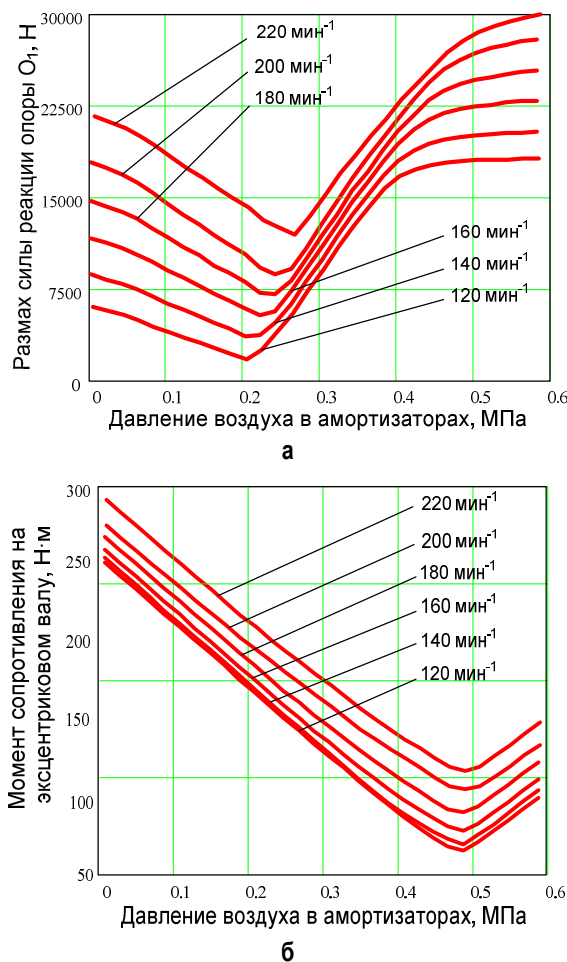


Рис. 3. Зависимость параметров нагружения МКК от уравнивающего усилия амортизаторов и частоты качания кристаллизатора

Разгрузка наиболее нагруженного звена МКК (стола качания с кристаллизатором) производится при помощи пары пневматических амортизаторов (см. рис. 1, поз. 7), уравнивающее усилие которых регулируется изменением давления воздуха [6]. Для исследования зависимости параметров нагружения привода (эксцентрикового вала) и шарниров механизма качания от инерционных нагрузок, регулируемых уравнивающим усилием, разработана математическая модель [24], позволяющая производить

кинетостатический анализ рассматриваемой механической системы. Исходными данными для математического моделирования были приняты: инерционные характеристики звеньев исследуемого МКК, давление воздуха в амортизаторах, технологическая нагрузка от трения слитка сечением 150×150 мм о гильзу и частота качания кристаллизатора. В качестве результатов моделирования, характеризующих параметры нагружения механизма качания, приняты размах силы реакции в его наиболее нагруженной опоре O_1 , а также размах момента сопротивления на эксцентриковом валу привода как функции от угла поворота ведущего звена.

Результаты моделирования силового нагружения МКК при регулировке давления пневматических амортизаторов в пределах 0,1-0,6 МПа и изменении частоты качания в пределах 120-220 мин⁻¹, соответствующих производственным параметрам работы сортовых МНЛЗ, показаны на рис. 3.

Как видно из полученных зависимостей, повышение частоты качания кристаллизатора существенно увеличивает размах сил реакций в опорах МКК и перемещенную составляющую момента сопротивления на эксцентриковом валу привода, что объясняется пропорциональностью силы инерции каждого звена квадрату его частоты вращения (качания) (рис. 4).

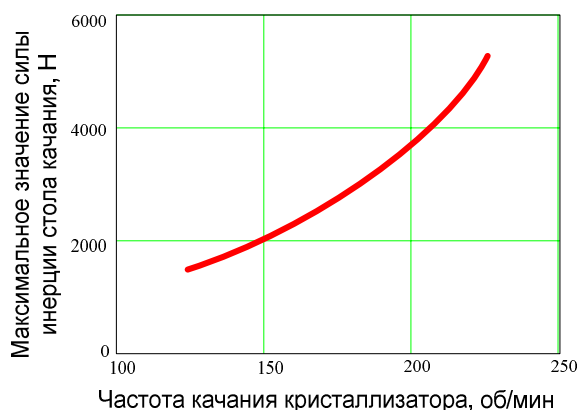


Рис. 4. Зависимость максимального значения силы инерции стола качания с кристаллизатором от частоты их качания

Минимальные значения данных контрольных параметров достигаются при различном давлении воздуха в уравнивающих амортизаторах. Следует учитывать, что основным критерием производственной настройки МКК является минимизация размаха момента сопротивления на эксцентриковом валу. Минимальное значение момента достигается при давлении воздуха в каждом амортизаторе 0,48 МПа. Однако в диапазоне значений 0,22-0,27 МПа, оптимальном для нагружения опоры O_1 , размах момента увеличивается на 90-120%, что может существенно повысить вибрацию элементов привода. Таким образом, значения давления воздуха в амортизаторах, соответствующие минимальному размаху сил реакций в шарнирах и опорах, целесообразно использовать при настройке МКК в производственных условиях в том

случае, когда прочностные характеристики и параметры привода способны обеспечить бесперебойную работу механизма при соответствующей нагрузке (размаха момента сопротивления на эксцентриковом валу).

Выводы

Параметры нагружения узлов МКК, а значит, и интенсивность их износа существенно зависят от частоты качания кристаллизатора и статической неуравновешенности механизма. Единственным оправданным методом их компенсации в настоящее время является введение между наиболее нагруженным звеном и неподвижной опорой упругой связи (пневматического амортизатора), что позволяет частично компенсировать силы тяжести и инерции.

Полученные в ходе математического моделирования результаты отражают зависимость нагружения шарниров, опор и привода МКК от частоты качания кристаллизатора и давления воздуха в уравнивающих амортизаторах и могут быть приняты к сведению при производственной настройке исследуемой конструкции МКК.

Список литературы

1. Сидоров В.А., Золкин И.Г. Исследование причин неисправностей работы привода перемещения холодильника МНЛЗ // Вибрация машин: измерение, снижение, защита. 2005. №1. С. 21-24.
2. Исследование кинематики манипулятора для быстрой замены погружных стаканов при непрерывной разливке стали / Еронько С.П., Сотников А.Л., Седуш В.С., Решетняк Н.С., Сергеев З.С., Колесник Е.В. // Металлургические процессы и оборудование. 2006. №1. С. 44-49.
3. Сотников А.Л. Контроль соосности оборудования МНЛЗ // Металлургические процессы и оборудование. 2006. №1. С. 24-27.
4. Сотников А.Л. Отклонения роликов зоны вторичного охлаждения от технологической оси МНЛЗ // Металлургические процессы и оборудование. 2006. №2. С. 43-48.
5. Сидоров В.А., Сотников А.Л. Моделирование зазоров в шарнирах рычажной системы механизма качания кристаллизатора МНЛЗ // Металлургические процессы и оборудование. 2006. №3. С. 48-57.
6. Сотников А.Л. Метод оперативного контроля соосности кристаллизатора с технологической осью ручья МНЛЗ // Вибрация машин: измерение, снижение, защита. 2006. №1. С. 32-35.
7. Шоломицкий А.А., Сотников А.Л., Адаменко В.И. Контроль геометрических параметров машины непрерывного литья заготовок // Металлургические процессы и оборудование. 2007. №3. С. 27-30.
8. Ковалев Р.В., Сотников А.Л. Математическая модель механизма качания кристаллизатора МНЛЗ // Вибрация машин: измерение, снижение, защита. 2008. №3. С. 47-58.
9. Сотников А.Л. Диагностическая модель подшипниковых узлов механизма качания кристаллизатора МНЛЗ // Вибрация машин: измерение, снижение, защита. 2008. №4. С. 48-54.
10. Могильный С.Г., Шоломицкий А.А., Сотников А.Л. Геодезические работы при проверке соосности оборудования машины непрерывного литья заготовок // Металлургические процессы и оборудование. 2009. №2. С. 19-27.
11. Сидоров В.А., Сотников А.Л., Нестеров А.Л. Исследование влияния давления воздуха в пневмоамортизаторах механизма качания на параметры движения кристаллизатора МНЛЗ // Металлургические процессы и оборудование. 2009. №4. С. 14-19.
12. Сидоров В.А., Сотников А.Л. Контроль сонаправленного движения кристаллизатора с технологической осью МНЛЗ // Металлургические процессы и оборудование. 2010. №3. С. 34-39.
13. Сотников А.Л. Виброметрический метод диагностирования подшипников рычажного механизма качания кристаллизатора МНЛЗ // Вибрация машин: измерение, снижение, защита. 2010. №3. С. 27-32.
14. Автономная пневмомеханическая система дозированной подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор МНЛЗ / Еронько С.П., Сотников А.Л., Котелев А.А., Чеченев В.А. // Металлургические процессы и оборудование. 2011. №2. С. 10-18.
15. Совершенствование технологии контроля положения и выставки оборудования МНЛЗ / С.Г. Могильный, А.А. Шоломицкий, А.А. Лунев, А.Л. Сотников, Э.М. Ватралик, И.С. Фролов // Металлургические процессы и оборудование. 2012. №3. С. 12-25.

16. Еронко С.П., Сотников А.Л., Ткачев М.Ю. Совершенствование системы быстрой смены погружных стаканов для серийной разливы стали на слябовых МНЛЗ // *Металлургические процессы и оборудование*. 2012. №3. С. 26-38.
17. Сидоров В.А. Анализ режимов работы столов качания сортовых МНЛЗ // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2010. №6. С.90-93.
18. Сидоров В.А. Определение границ работоспособного состояния столов качания сортовых МНЛЗ // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2011. №1. С. 98-102.
19. Нормирование режимов работы и уровня вибрации механизма качания кристаллизатора МНЛЗ / Сотников А.Л., Нагорный В.М., Оробцев А.Ю., Птуха С.В., Родионов Н.А. // *Металлургические процессы и оборудование*. 2013. №1. С. 44-54.
20. Расчет усилия предварительной затяжки резьбового крепления полого вала редуктора / Сотников А.Л., Родионов Н.А., Ольшевский А.А., Птуха С.В. // *Металлургические процессы и оборудование*. 2013. №2. С. 50-57.
21. Сидоров В.А. Исследование вибрационного состояния механизма качания кристаллизатора МНЛЗ // *Металлургические процессы и оборудование*. 2013. №2. С. 58-68.
22. Сидоров В.А., Сотников А.Л., Птуха С.В. Техническое обслуживание и ремонт механизма качания кристаллизатора МНЛЗ // *Металлургические процессы и оборудование*. 2009. №4. С. 39-43.
23. Сотников О.Л., Родионов М.О. Врівноважування механізму хитання кристалізатора МБЛЗ // *Збірник наукових праць Донбаського державного технічного університету*. Вип. 35. Алчевськ: ДонДТУ, 2011. С. 102-106.
24. Родионов Н.А. Исследование долговечности подшипников шарнирно-рычажного механизма качания кристаллизатора МНЛЗ // *Современное машиностроение. Наука и образование: материалы 3-й Междунар. науч.-практ. конференции / под ред. М.М. Радкевича и А.Н. Евграфова*. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. С. 371-378.
25. Щепетильников В.А. Уравновешивание механизмов. М.: Машиностроение, 1982. 256 с.

Сведения об авторах

Сотников Алексей Леонидович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Механическое оборудование заводов черной металлургии» Донецкого национального технического университета, Украина. Тел.: +38 (062) 301-08-39. E-mail: m-lab@ukr.net.

Родионов Николай Александрович – аспирант кафедры «Механическое оборудование заводов черной металлургии» Донецкого национального технического университета, Украина. Тел.: +38 (062) 301-08-39. E-mail: r-n-a@ukr.net.

Журба Валерий Владимирович – доц. кафедры теоретической механики Донецкого национального технического университета, Украина. E-mail: tmech@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE INVESTIGATION OF INERTIAL LOADS INFLUENCE ON THE LOADING OF HUNTING HINGED LEVER MOTION OF VARIETAL CONTINUOUS CASTING MACHINE

Sotnikov Alexei Leonidovich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Donetsk National Technical University, Ukraine. Phone: +38 (062) 301-08-39. E-mail: m-lab@ukr.net.

Rodionov Nikolai Aleksandrovich – Postgraduate Student, Donetsk National Technical University, Ukraine. Phone: +38 (062) 301-08-39. E-mail: r-n-a@ukr.net.

Jurba Valery Vladimirovich – Associate Professor, Donetsk National Technical University, Ukraine. Phone: +38 (062) 301-08-39. E-mail: tmech@mail.ru.

Abstract. The results of study of the inertial loads effect on the parameters of loading joints, bearings and drive of the hunting hinged lever motion of varietal continuous casting machine crystallizer were shown. During the research it was found that the crystallizer hunting frequency and hunting motion static imbalance cause the inertial loads. Hunting motion component loading dependencies on the crystallizer hunting frequency and air pressure in the balancing air dampers, which should be taken into account in setting up the crystallizer hunting motion under production environment, were obtained by mathematic simulation.

Keywords: CCM, hunting motion, inertial force, static instability, the reaction force, loading, air damper.

References

1. Sidorov V.A., Zolkin I.G. Research into the causes of faults of the drive moving of the caster refrigerator. *Vibratsiya mashin: izmerenie, snizhenie, zashhita* [Vibration machines: measurement, reduction, protection]. 2005, no. 1, pp. 21-24.
2. Eronko S.P., Sotnikov A.L., Sedush V.S. Reshetniak N.S., Sergeev Z.S., Kolesnik E.V. Study of the kinematics of the robot arm to quickly replace submerged nozzles during continuous casting of steel. *Metallurgicheskie protsessy i oborudovanie* [Metallurgical processes and equipment]. 2006, no. 1, pp. 44-49.
3. Sotnikov A.L. Control alignment equipment caster. *Metallurgicheskie protsessy i oborudovanie* [Metallurgical processes and equipment]. 2006, no. 1, pp. 24-27.
4. Sotnikov A.L. Deviations rollers secondary cooling zone of the technological axis caster. *Metallurgicheskie protsessy i oborudovanie* [Metallurgical processes and equipment]. 2006, no. 2, pp. 43-48.
5. Sidorov V.A., Sotnikov A.L. Modeling gaps in the joints of the linkage mechanism of mold oscillation caster. *Metallurgicheskie protsessy i oborudovanie* [Metallurgical processes and equipment]. 2006, no. 3, pp. 48-57.
6. Sotnikov A.L. The method of operational control of the mold alignment with the axis of the stream of technological caster. *Vibratsiya mashin: izmerenie, snizhenie, zashhita* [Vibration machines: measurement, reduction, protection]. 2006, no. 1, pp. 32-35.
7. Sholomitsky A.A., Sotnikov A.L., Adamenko V.I. Control of the geometric parameters of continuous casting machine. *Metallurgicheskie protsessy i oborudovanie* [Metallurgical processes and equipment]. 2007, no. 3, pp. 27-30.
8. Kovalev R.V., Sotnikov A.L. A mathematical model of the mold oscillator. *Vibratsiya mashin: izmerenie, snizhenie, zashhita* [Vibration machines: measurement, reduction, protection]. 2008, no. 3, pp. 47-58.
9. Sotnikov A.L. Diagnostic bearing units model of mold oscillator. *Vibratsiya mashin: izmerenie, snizhenie, zashhita* [Vibration machines: measurement, reduction, protection]. 2008, no. 4, pp. 48-54.
10. Mogilniy S.G., Sholomitsky A.A., Sotnikov A.L. Geodetic works when checking alignment equipment of continuous casting machine. *Metallurgicheskie protsessy i oborudovanie* [Metallurgical processes and equipment]. 2009, no. 2, pp. 19-27.
11. Sidorov V.A., Sotnikov A.L., Nesterov A.L. Investigation of the influence of air pressure in the air spring of oscillator on the motion parameters of the mold caster. *Metallurgicheskie protsessy i oborudovanie* [Metallurgical processes and equipment]. 2009, no. 4, pp. 14-19.
12. Sidorov V.A., Sotnikov A.L. Control of current movement of the mold with the technological axis of caster. *Metallurgicheskie protsessy i oborudovanie* [Metallurgical processes and equipment]. 2010, no. 3, pp. 34-39.
13. Sotnikov A.L. Vibrameasurement method of diagnosing bearings of CCM mold oscillator. *Vibratsiya mashin: izmerenie, snizhenie, zashhita* [Vibration machines: measurement, reduction, protection]. 2010, no. 3, pp. 27-32.
14. Eronko S.P., Sotnikov A.L., Kotelevets A.A., Chechenev V.A. Autonomous rotor system of dispensing slag-forming mixture into the mold caster. *Metallurgicheskie protsessy i oborudovanie* [Metallurgical processes and equipment]. 2011, no. 2, pp. 10-18.
15. Mogilniy S.G., Sholomitsky A.A., Lunev A.A., Sotnikov A.L., Vatrak E.M., Frolov I.S. Improving the status and control technology equipment of CCM. *Metallurgicheskie protsessy i oborudovanie* [Metallurgical processes and equipment]. 2012, no. 3, pp. 12-25.
16. Eronko S.P., Sotnikov A.L., Tkachev M.U. Improving the system of fast change of the immersion nozzle for slab CCM. *Metallurgicheskie protsessy i oborudovanie* [Metallurgical processes and equipment]. 2012, no. 3, pp. 26-38.
17. Sidorov V.A. Analysis of the modes of CCM mold oscillators. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'* [Metallurgical and Mining Industry]. 2010, no. 6, pp. 90-93.
18. Sidorov V.A. Definition of boundaries operating condition of CCM mold oscillators. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'* [Metallurgical and Mining Industry]. 2011, no. 1, pp. 98-102.

19. Sotnikov A.L., Nagorniy V.M., Orobtssev A.Y., Ptukha S.V., Rodionov N.A. Normalization of modes and levels of vibration of CCM mold oscillator. *Metallurgicheskie protsessy i oborudovanie* [Metallurgical processes and equipment]. 2013, no 1, pp. 44-54.
20. Sotnikov A.L., Rodionov N.A., Olszewski A.A., S. Ptukha S.V. Calculation of pre-tightening force of thread joints of the reducer hollow shaft. *Metallurgicheskie protsessy i oborudovanie* [Metallurgical processes and equipment]. 2013, no 2, pp. 50-57.
21. Sidorov V.A. Research of vibration state of mould oscillating mechanism of CCM. *Metallurgicheskie protsessy i oborudovanie* [Metallurgical processes and equipment]. 2013, no. 2, pp. 58-68.
22. Sidorov V.A., Sotnikov A.L., Ptukha S.V. Maintenance and repair of CCM mold oscillator. *Metallurgicheskie protsessy i oborudovanie* [Metallurgical processes and equipment]. 2009, no. 4, pp. 39-43.
23. Sotnikov A.L., Rodionov N.A. Equilibration of mould oscillating mechanism of CCM. *Zbirnik naukovikh prats' Donbas'kogo derzhavnogo tekhnichnogo universitetu* [Proceedings of Donbass State Technical University]. Iss. 35. Alchevsk: State Technical University, 2011, pp. 102-106.
24. Rodionov N.A. Study of durability of bearing of mould oscillating mechanism of CCM. *Sovremennoe mashinostroenie. Nauka i obrazovanie: materialy 3-j Mezhdunar. nauch.-prakt. konferentsii* [Modern engineering. Science and Education: Proceedings of the 3rd. scientific and practical]. S. Petersburg: Publishing House of the Polytechnic University, 2013, pp. 371-378.
25. Schepetilnikov V.A. *Uravnoveshivanie mekhanizmov* [Balancing of mechanisms]. M.: Mechanical Engineering, 1982, 256 p.

УДК 621.771

Белевский Л.С., Исмагилов Р.Р.

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ВАЛКОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ СЛИТКОВ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВА, НА ЛИСТОВЫХ СТАНАХ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ

Аннотация. Приведены результаты испытаний валков, изготовленных из слитков электрошлакового переплава, на листовых станах холодной прокатки. Стойкость литых валков с содержанием хрома 2,5-3,5% превышает стойкость кованых валков с содержанием хрома 1,5-2,5% в 1,42-1,64 раза.

Ключевые слова: валки, холодная прокатка, электрошлаковый переплав, стойкость.

Краткая характеристика прокатных станов, на которых прошли промышленные испытания литокованных и литых валков из слитков электрошлакового переплава (ЭШП) [1], приведены в табл. 1. Проведены расчеты напряжений в элементах валков по известной методике [2]. В клетях кварто усилие прокатки на 95-98% передается на опорные валки и последние надо рассчитывать на изгиб от этого усилия, причем максимальные напряжения изгиба возникают в шейках валков. В шейках опорных валков размером 500×400 стана 400 максимальные напряжения изгиба достигают всего 34 МПа. При этих напряжениях запас прочности литых шеек из слитков ЭШП достигает 22,0 (при требуемом пятикратном запасе и $\sigma_b=736$ МПа). Рабочие валки клетей кварто рассчитывают только на кручение. Максимальные значения $\tau_{кр}$ возникают в приводном трепе валка. Запас прочности всех рабочих литых валков из металла ЭШП колеблется в пределах 1,65-3,40 (допускаемый запас прочности валков при кручении $n=1,1-1,4$).

Проведенные расчеты широкого сортамента прокатных валков показали, что литой металл ЭШП обеспечивает прочностные свойства по запасу прочности для работы во всех станах и может применяться как для рабочих, так и для опорных валков.

Промышленные испытания валков в литокованом и литом исполнениях с содержанием хрома 1,5-2,5%

Целью испытания опытных валков с традиционным содержанием хрома в пределах 1,5-2,5% являлось определение влияния литой структуры бочки и шеек валков на их эксплуатационные показатели. Общий объем промышленной партии опытных валков для испытания на станах ОАО «ММК» вполне достаточный для того, чтобы делать выводы об их служебных характеристиках и составляет: в литокованом исполнении – 176 шт., в литом исполнении – 130 шт.

В табл. 2 приведены данные о количестве валков, прошедших испытания на каждом стане, средней стой-

кости опытных валков в сравнении с валками полностью в кованом исполнении. Все валки испытывали в одинаковых условиях с соблюдением технологических инструкций по эксплуатации валков. При обработке данных по стойкости валков, с целью упрощения и получения более достоверных сведений, при определении средней стойкости не проводилась разбивка по материалам валков.

Характеристика непрерывных листовых станов холодной прокатки ОАО «ММК», на которых происходили испытания валков

Стан	Число клетей	Размер прокатываемых полос, hxb, мм	Толщина подката, мм	Относительное обжатие, %	Скорость прокатки, м/с	Максимальное давление металла на валки, $\times 10^4$ Н	Максимальный момент прокатки, $\times 10^4$ Н·м
2500	4	(0,6-2,5)×(1250-2350)	1,5-5,0	70	21,0	2000	13,5
1200	5	(0,18-0,63)×(500-1050)	2,2-2,5	92	28,0	1000	7,6
1450	3	(0,5-2,0)×(630-1005)	1,8-3,7	72	4,3	900	5,1
630	5	(0,5×4,0)×(250-465)	2,0-8,0	83	15,0	400	2,8
400	4	(0,2-2,0)×(245-300)	0,7-3,5	75	15,0	100	0,4

Таблица 2

Стоимость прокатных валков с содержанием хрома до 2,5% различных исполнений на станах ОАО «ММК»

Назначение валка	Размер валка	Исполнение валка	Кол-во, шт.	Причина списания, шт. %					Средняя стоимость на один валок		
				Износ	Повреждение бочки	Навар	Повреждение шейки	Прочие	Прокат, т	Износостойкость, т/мм	Коэффициент стойкости
Рабочий	500x1200	кованый	131	40/31	65/49	9/7	17/13	-	20701	1884	1,0
		литокованный	52	15/29	29/55	4/8	4/8	-	22293	2143	1,08
		литой	45	15/33	21/47	8/18	1/2	-	23462	2316	1,13
Рабочий	500x2500	кованый	305	177/58	27/9	101/33	-	-	74041	3938	1,0
		литокованный	2	1/50	-	1/50	-	-	77808	4248	1,05
		литой	2	2/100	-	-	-	-	121681	6580	1,64
Рабочий	450x1450	кованый	18	12/69	4/20	-	2/11	-	25432	2246	1,0
		литокованный	20	14/70	3/15	2/10	1/5	-	26696	2370	1,05
		литой	18	13/76	2/10	3/14	-	-	26322	2315	1,035
Рабочий	420x630	кованый	97	37/38	22/23	31/32	7/7	-	32580	2458	1,0
		литокованный	102	42/41	35/34	25/25	-	-	36553	2574	1,12
		литой	42	25/59	11/27	6/14	-	-	35948	2531	1,10
Опорный	500x400	кованый	28	-	26/91	-	2/9	-	29757	3112	1,0
		литокованный	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		литой	23	-	23/100	-	-	-	31275	3266	1,05

Анализ данных табл. 2 позволяет сделать следующие выводы.

1. Стойкость всех валков с литой бочкой превышает стойкость валков с кованой бочкой на 3,5-13,0%. Исключения составляют только валки размером 500x2500, испытания которых показали превышение стойкости на 64%. Но эта цифра требует уточнения ввиду малочисленной партии валков литого исполнения (в количестве 2 шт.). Общее повышение стойкости литой бочки всех валков объясняется повышением их износостойкости (количество прокатанного металла, приходящегося на 1 мм износа бочки валка). При прокатке износ литой структуры несколько меньше кованой. В результате при плановых перевалках на вываленных валках при перешлифовке снимается меньший объем металла.

2. Повреждаемость бочки валков, как кованых, так и литых, в виде отслоений и выкрошек находится на одном уровне. Замеры глубины закаленного слоя методом замера твердости при послойном шлифовании показали одинаковые результаты для всех видов валков. Глубина закаленного слоя составила 10-12 мм, поэтому повреждаемость литой бочки валков не уменьшилась. Следовательно, литая структура не позволяет в чистом виде получить требуемую глубину закаленного слоя более 20 мм, необходимую для предотвращения повреждений бочки при прокатке складок. Для этой цели необходимо легирование валков большим содержанием хрома.

3. Положительным результатом испытания валков с литой шейкой является значительное снижение выхода валков по повреждению шеек в виде абразивного износа и при аварийных повреждениях подшипников. Так, из суммарного парка валков с коваными шейка-

ми (валки кованые и литокованные) в количестве 755 шт. списано по повреждению шеек 33 валка, что составило 4,37%. Из общего парка валков с литыми шейками в количестве 130 шт. списан по повреждению шеек только 1 валок, что составило 0,8%. Не зафиксировано ни одного случая поломок валков в литом и литокованном исполнениях.

4. Результаты испытаний свидетельствуют об эффективности применения на станах холодной прокатки валков, изготовленных в литом исполнении из металла ЭШП, как наиболее экономичных.

Промышленные испытания валков с содержанием хрома 2,5-3,5%

Целью испытания опытных валков с содержанием хрома 2,5-3,5% является определение влияния повышенного содержания хрома на эксплуатационные свойства валков по сравнению с валками с содержанием хрома 1,5-2,5%. Все опытные валки изготовлены в литом исполнении из ЭШП в следующем количестве: рабочие валки 500x1200 – 8 шт.; рабочие валки 200x400 – 10 шт.; опорные валки 500x400 – 6 шт. Валки испытывали на станах в одинаковых условиях с коваными валками. В процессе работы валка №584 размером 500x1200 с твердостью бочки 93,5 HSD периодически замерялась твердость бочки после сошлифовки через каждые 2-3 мм по радиусу. Распределение твердости по глубине закаленного слоя приведено на рис. 1. Для сравнения здесь же приведено распределение твердости в кованом валке с содержанием хрома 1,89%. Из графиков рис. 1 следует, что увеличение содержания хрома до 3,09% позволило вдвое повысить прокаливаемость бочки валка. Глубина закалки до минимально допустимой твердости в 90 HSD на валке

с содержанием хрома до 3,5% составила 19 мм, тогда как на валке с пониженным содержанием хрома она составила всего 9 мм. Увеличение глубины закалённого слоя привело и к значительному повышению стойкости валков. Средняя стойкость опытных валков для каждого стана приведена на диаграммах (рис. 2-4). В среднюю стойкость валков включены валки из всех марок стали с различным содержанием хрома.

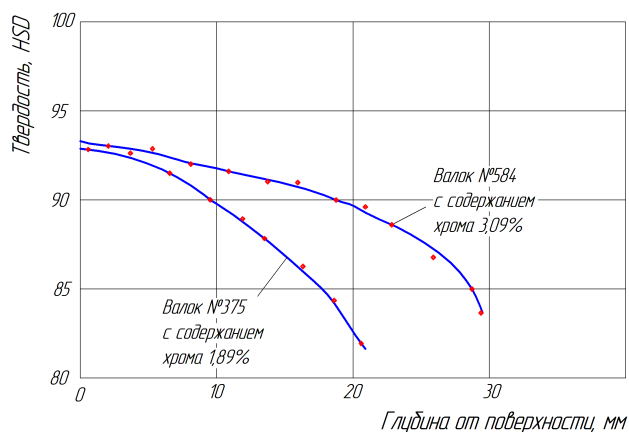


Рис. 1. Распределение твердости в рабочих валках размером 500х1200 с различным содержанием хрома



Рис. 2. Диаграмма стойкости валков 500х1200 разных исполнений и с различным содержанием хрома

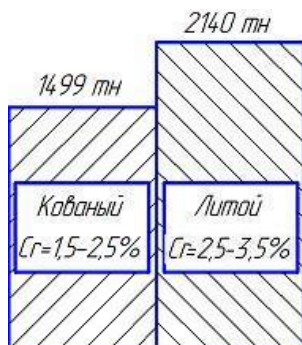


Рис. 3. Диаграмма стойкости валков 200х400 разных исполнений и с различным содержанием хрома

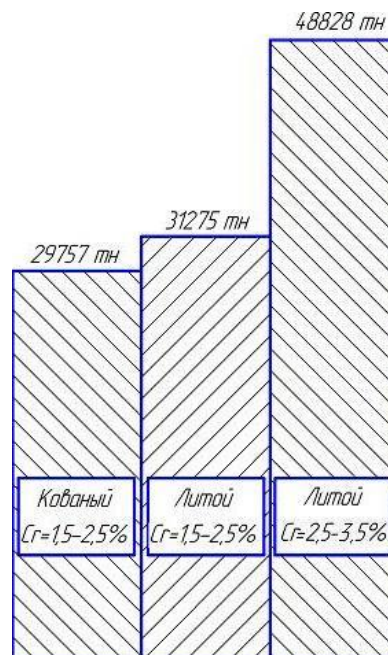


Рис. 4. Диаграмма стойкости валков 500х400 разных исполнений и с различным содержанием хрома

Заключение

Анализ данных эксплуатации опытных валков позволяет сделать следующие выводы.

1. Общая стойкость литых валков из слитков ЭШП с повышенным содержанием хрома в пределах 2,5-3,5% превосходит стойкость кованых валков с традиционным содержанием хрома 1,5-2,5% в 1,42-1,64 раза.

2. В 8-9 раз повышается списание валков, вышедших из строя по естественному износу, а повреждаемость бочки валков снижается, что является следствием возрастания контактной выносливости закалённого слоя большей глубины при прохождении складок при обрывах полосы во время прокатки листа на станах.

Список литературы

- Белевский Л.С., Исмагилов Р.Р. Опыт изготовления литых стальных рабочих валков станов холодной прокатки из слитков электрошлакового переплава // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №3 (43). С. 78-81.
- Королев А.А. Конструкция и расчёт машин и механизмов прокатных станов. М.: Металлургия, 1985. 373 с.

Сведения об авторах

Белевский Леонид Сергеевич – д-р техн. наук, проф. кафедры прикладной механики и графики ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8 (3519) 29-84-38. E-mail: l.belevskiy@mail.ru.

Исмагилов Рамиль Равкатович – аспирант кафедры прикладной механики и графики ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», ведущий специалист по валкам и подшипникам отдела оборудования ОАО «ММК», Россия. Тел.: 8 (3519) 24-75-20. E-mail: valki@mmk.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

INDUSTRIAL TESTS OF ROLLERS PRODUCED FROM ELECTROSLAG REMELTING INGOTS ON COLD ROLLING SHEET MILLS

Belevskiy Leonid Sergeevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Phone: 8 (3519) 29-84-38. E-mail: l.belevskiy@mail.ru.

Ismagilov Ramil Rafkatovich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, a leading expert on rollers and bearings of Equipment Division, OJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works», Russia. Phone: 8 (3519) 24-75-20. E-mail: valki@mmk.ru.

References

Abstract. The results of tests of rollers produced from electros slag remelting ingots on cold rolling sheet mills have been presented. The durability of cast rolls with 2,5-3,5% chromium content exceeds the durability of forging rollers with 1,5-2,5% chromium content in 1,42-1,64 times.

Keywords: rollers, cold rolling, electros slag remelting, durability.

1. Belevskiy L.S., Ismagilov R.R. The experience of manufacture of cast steel work rolls of cold rolling mill from ingot by electros slag remelting. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2013, no. 3(43), pp. 78-81.
2. Korolev A.A. *Konstruktsia i raschet mashin i mekhanizmov prokatnykh stanov* [The design and calculation of machinery and mechanisms of mills]. Moscow: Metallurgy, 1985, 373 p.

УДК 621.926.22

Кольга А.Д., Айбашев Д.М.

ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ НАГРУЗОК В ЩЕКОВЫХ ДРОБИЛКАХ

Аннотация. Приведены исследования взаимодействия кусков породы с выступами дробящих плит щековых дробилок.

В результате теоретических исследований, подтвержденных экспериментальными данными, было определено, что тенденцией снижения нагрузок, необходимых для разрушения кусков породы, является уменьшение контактной площади кусков породы с выступами дробящих плит.

Ключевые слова: выступы дробящих плит, контактная площадь, нагрузка, разрушение, напряжение, деформация.

По мере развития горной, строительной, химической промышленности все большую актуальность приобретает проблема повышения эффективности дезинтеграции твердых материалов и, прежде всего, минерального сырья в виде горных пород. Это вызывает, в свою очередь, необходимость совершенствования дробильных машин и изыскания принципиально новых конструктивных решений, повышающих технико-экономические показатели.

Современное повышение эффективности производства в настоящее время решается комплексно и базируется на энергоресурсосберегающих технологиях в рамках разработки и внедрения высокопроизводительных машин.

Щековые дробилки широко применяются во многих отраслях промышленности для дробления различных по прочности и хрупкости материалов. Однако они обладают высокой энергоемкостью, повышенной изнашиваемостью дробящих плит и рядом других недостатков.

Дробящие плиты – основные рабочие органы щековых дробилок, являются сменными быстроизнашивающимися элементами. Конструкция плит и износостойкость материала, из которого они изготовлены, оказывают большое влияние на такие технико-экономические показатели процесса дробления, как:

- производительность;
- удельный расход энергии;
- фракционный состав;
- форма зерен дробленого продукта.

Как известно, щековые дробилки работают по принципу раздавливания материала дробящими плитами, сопровождающегося раскалыванием кусков породы на несколько частей под действием напряжений сжатия [$\sigma_{сж}$] [1].

Проблеме снижения нагрузок, необходимых для разрушения кусков породы и повышения эффективности дробления, посвящены работы многих исследователей. Предложено много конструктивных решений. Это разные по форме и высоте рифления дробящие плиты, ступенчатое и плавное уменьшение высоты рифлений от входного отверстия к выходному и др. [1]. Данные работы можно назвать попытками частичной замены самого энергоёмкого вида разрушения на менее энергоёмкие, т.е. замены напряжений сжатия $\sigma_{сж}$ на напряжения растяжения σ .

Результаты исследований показывают, что для разрушения кусков породы при концентрации усилий на меньшей площади, соответствующей выступам дробящих плит, разрушение происходит при значительно меньших усилиях. Это объясняется тем, что процесс разрушения кусков породы в результате напряжений сжатия (раздавливание) частично заменяется такими видами разрушения, как излом в результате изгиба [2] и раскалывание в результате расклинивания.

Уменьшение контактной площади выступов дробящих плит с куском породы играет важную роль в процессе дробления в щековых дробилках.

Именно этим можно объяснить тот факт, что подавляющее количество современных щековых дробил-

лок комплектуется дробящими плитами с треугольными выступами (рифление параллельными выступами), несмотря даже на то, что они подвержены более интенсивному изнашиванию.

Однако основным недостатком существующих конструкций рифлений дробящих плит является ограниченность замены напряжений сжатия $\sigma_{сж}$ на напряжение растяжения σ .

Выступы, контактируя с куском породы при сжимающей силе, равной нулю $P = 0$, с точки зрения теории упругости, образуют контакт в точке при условии, что кусок породы имеет форму шара. В реальных условиях куски в форме шара крайне редки, в основном они неправильной формы. Это наводит на мысль, что в большинстве случаев есть возможность контакта по линии с некоторой длиной. С увеличением сжимающей силы дробящих плит $P > 0$ первоначальное линейное касание переходит на соприкосновение по некоторой площадке с границей, близкой к прямоугольной узкой площади. В камере дробления давление, создаваемое выступами дробящих плит на поверхности куска породы, распределяется по всей контактной площади каждого выступа и определяется по следующей зависимости:

$$\sigma_{сж} = \frac{P}{F}, \quad (1)$$

где P – приложенная нагрузка выступов дробящих плит на кусок породы, Н; F – контактная площадь выступов дробящих плит с куском породы, m^2 .

Предполагая, что для разрушения кусков породы предельное напряжение $[\sigma_{сж}] = const$, его значение может быть достигнуто либо увеличением приложенной силы P , либо уменьшением контактной площади F .

Рассмотрим схему нагружения куска породы в камере дробления.

При отсутствии нагрузки кусок породы имеет линейное касание с выступами дробящих плит. Взаимодействие куска породы с выступами заменим удобным для практических расчетов случаем: примем форму куска цилиндрической 1 (рис. 1) с диаметром D и длиной l , который сжимается выступом (стальной пластиной) 2 силой P . В качестве образцов для проведения экспериментов применялись керны горных пород $\phi 0,050 - 0,070$ м.

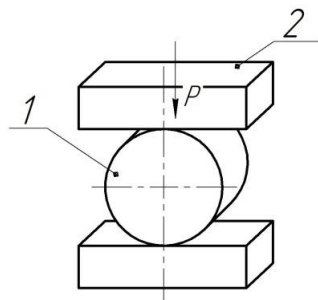


Рис. 1. Схема нагружения образца

При воздействии нагрузки соприкасающиеся тела деформируются. В месте линии касания образуется контактная площадь F_n в форме узкого прямоугольника. Площадь контакта F_n определяется произведением сторон этого прямоугольника:

$$F_n = b \cdot l, \quad (2)$$

где b – ширина контактной площадки; l – длина контактной площадки (длина цилиндра).

Ширина контактной площадки b определяется по уравнению [3, 4]

$$b = 2 \cdot \sqrt{PR \left(\frac{1-\nu_1^2}{\pi E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{\pi E_2} \right)}, \quad (3)$$

где P – нагрузка стальной пластины на придавливаемый образец; R – радиус образца (керны); ν_1 – коэффициент Пуассона образца; ν_2 – коэффициент Пуассона стальной пластины; E_1 – модуль упругости образца; E_2 – модуль упругости стальной пластины.

Подставляя (3) в уравнение (2), получим:

$$F_n = 2l \cdot \sqrt{PR \left(\frac{1-\nu_1^2}{\pi E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{\pi E_2} \right)}. \quad (4)$$

Образцы (керны) размерами $D = 0,0578$ м, $l = 0,0578$ м при таком характере приложения нагрузки раскалываются вдоль по линии контакта. Предельные нагрузки раскалывания находятся в пределах от 86000 до 126000 Н.

Как видно, предельные нагрузки разрушения кусков породы при линейном касании довольно значительны. Это связано с распределением давления по всей контактной площади. Кроме того, значительная часть энергии пропорционально контактной площади расходуется на деформирование куска породы.

В этом случае наилучшим способом концентрации давления на поверхности куска породы является выполнение выступов в виде конуса. Однако условия дробления кусков породы в щековых дробилках обуславливают несимметричность прикладываемых нагрузок оси конуса, что может привести к поломке его вершины.

Одним из способов эффективной концентрации давления может стать выполнение выступов дробящих плит сферической формы.

Рассмотрим разрушение куска породы под действием стального шара. Пусть кусок породы имеет форму цилиндра 1 (рис. 2) такую же, как было принято выше и с теми же размерами с диаметром D и длиной l , который сжимается стальным шаром 2 силой P .

При отсутствии нагрузки шар и кусок породы имеют взаимное касание в точке. Под действием нагрузки в месте точечного касания образуется контактная площадь F_s в форме эллипса. Контактная

площадь F_3 определяется как площадь эллипса:

$$F_3 = \pi ab, \quad (5)$$

где a – большая полуось эллипса; b – малая полуось эллипса.

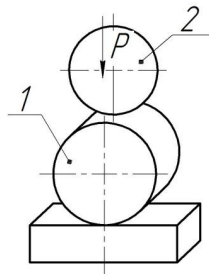


Рис. 2. Схема нагружения образца

Полуоси эллипса a , b определяются по уравнениям [5]*:

$$a = 2,078 \cdot \sqrt[3]{\frac{P \left(\frac{1-\nu_1^2}{\pi E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{\pi E_2} \right) R_1 R_2}{2R_1 + R_2}}; \quad (6)$$

$$b = 1,383 \cdot \sqrt[3]{\frac{P \left(\frac{1-\nu_1^2}{\pi E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{\pi E_2} \right) R_1 R_2}{2R_1 + R_2}},$$

где P – нагрузка стального шара на придавливаемый образец; R_1 – радиус образца (жерна); R_2 – радиус шара; ν_1 – коэффициент Пуассона образца; ν_2 – коэффициент Пуассона стального шара; E_1 – модуль упругости образца; E_2 – модуль упругости стального шара.

Образцы при таком характере приложения нагрузки раскалываются так же, вдоль по длине цилиндра. Результаты экспериментов приложены на рис. 3.

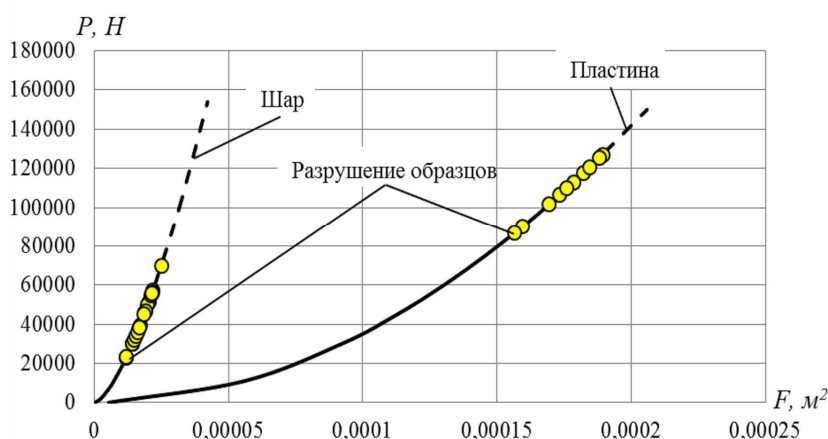


Рис. 3. Зависимость контактной площади от приложенной нагрузки

* Данные уравнения вычислены для частного случая, когда радиус цилиндра $R_1 = 0,0289$ м и радиус шара $R_2 = 0,0285$ м.

Из графика (см. рис. 3) видно, что нагрузки, требуемые для разрушения кусков породы, создаваемые при точечном касании, значительно ниже, чем при линейном касании.

Снижение нагрузок, требуемых для разрушения кусков, связано с уменьшением контактной площади выступов дробящих плит с куском породы. При этом разрушение куска породы происходит в результате его расклинивания внедряющимся в него шаром и последующего его разрыва, при котором в материале появляются напряжения растяжения $[\sigma]$ [6]. Пределы прочности на растяжение $[\sigma]$ большинства горных пород многократно ниже, чем на сжатие $[\sigma_{сж}]$ [7].

Однако уменьшение контактной площади выступов дробящих плит с куском породы (точечное касание) ведет к увеличению хода подвижной щеки дробилки, так как часть хода подвижной щеки кроме деформирования куска породы идет на внедрение выступа в кусок породы. Это может привести к ухудшению процесса дробления. В связи с этим при определении величины хода подвижной щеки дробилки необходимо учитывать этот факт.

Таким образом, в процессе дробления в щековых дробилках тенденцией снижения нагрузок, необходимых для разрушения кусков породы, является замена напряжений сжатия $[\sigma_{сж}]$ на напряжения растяжения $[\sigma]$ за счет уменьшения контактной площади выступов дробящих плит с куском породы, которое может быть достигнуто благодаря выполнению выступов на поверхности дробящих плит в виде полусфер.

Список литературы

1. Клушанцев Б. В., Косарев А.И., Муйземнек Ю.А. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации. М.: Машиностроение, 1990. 320 с.
2. Влияние размеров и формы рифлений дробящих плит на процесс дробления щековых дробилок. // Кольга А.Д., Айбашев Д.М., Горячих В.Д. Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 70-й межрегион. науч.-техн. конф. Магнитогорск. Изд-во Магнитогорск. гос. тех. ун-та, 2012. Т.1. С. 80-83.
3. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости: пер. с англ. / Под ред. Г.С. Шапиро. 2-е изд. М.: Наука, 1979. 560 с.
4. Менькова Н. М. Применение контактной задачи теории упругости в прикладной механике. М., 2012.
5. Айбашев Д.М., Кольга А.Д., Столповских И.Н. Махамбетов Д.К. Напряженно-деформированное состояние контакта дробящих плит с рифлением щековой дробилки с куском породы // Вестник КазНТУ (Казахский национальный технический университет). 2013. № 5(99). С. 40-48.
6. Олевский В. А. Конструкции, расчеты и эксплуатация дробилок. М., 1958. 459 с.
7. Распределение и корреляция физических свойств горных пород // Протодакьянов М.М., Тедер Р.И., Ильницкая Е.И. и др. М.: Недра, 1981. 192 с.

Сведения об авторах

Кольга Анатолий Дмитриевич – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой горных машин и транспортно-технологических комплексов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8(3519) 29-85-45. E-mail: kad-55@magtu.ru.

Айбашев Дилмурод Маматхалилович – целевой аспирант Кызыл-Кийского института природопользования и геотехнологии Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова, г. Кызыл-Кия, Кыргызстан. Тел.: 8(3519) 29-85-45. E-mail: aibashevdm@rambler.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

PERFORMANCE CAPABILITIES TO REDUCE LOADS IN THE JAW CRUSHERS

Kolga Anatoliy Dmitrievich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8 (3519) 29-85-45. E-mail: kad-55@magtu.ru.

Aibashev Dilmurod Mamathalilovich – Postgraduate Student in the target direction of Kyzyl-Kiya institute of natural resources and geotechnology, Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Kyzyl-Kiya, Kyrgyzstan. Phone: 8 (3519) 29-85-45. E-mail: aibashevdm@rambler.ru.

Abstract. Rock pieces interactions with the ledges of jaw crusher grinding plates were investigated.

As a result of theoretical studies confirmed by the experimental data, it was defined that the tendency of load reducing needed for rock fragments breaking is the reduction of rock pieces contact area with protrusions of rock crushing plates.

Keywords: ledge of the crusher plates, contact area, loading, destruction, pressure, deformation.

References

1. Klushantsev B.V., Kosarev A.I., Muzeimnek J.A. *Drobilki. Konstruktsiya, raschet, osobennosti ekspluatatsii* [The crushers. Construction, calculation, application features]. Moscow: Mashinostroenie, 1990. 320 p.
2. Kolga A.D., Aibashev D.M., Goryachih V.D. The influence of the size and shape of scribes crushing plates on the process of crushing jaw crusher. *Aktual'nye problemy sovremennoy nauki, tekhniki i obrazovaniya: materialy 70-y mezhregion. nauch.-tekhn. konf.* [Actual problems of modern science, technology and education. Materials of interregional scientific-technical conference]. Magnitogorsk, 2012, vol. 1, pp. 80-83.
3. Timoshenko S.P., Goodier. J. *Teoriya uprugosti* [Theory of Elasticity]. Ed. Shapiro. Moscow: Nauka, 1979, 560 p.
4. Menkova N.M. *Primenenie kontaktnoy zadachi teorii uprugosti v prikladnoy mehanike. Obschij obzor* [The use of the contact problem of the theory of elasticity in applied mechanics. General overview]. Moscow, 2012.
5. Aibashev D.M., Kol'ga A.D., Stolpovskih I.N. Makhambetov D.K. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie kontakta drobyaschih plit s rifleniem schekovoy drobilki s kuskom porody [The stress-strain state of the contact plates with ribs crushing jaw crusher with a piece of rock]. *Vestnic KazNTU (Kazakh National Technical University)*, 2013, no. 5 (99), pp. 40-48.
6. Olevskiy V.A. *Konstruktsii, raschety i ekspluatatsiya drobilok*. [The construction, calculations and operation of crushers]. Moscow, 1958, 459 p.
7. Protodiakonov M.M., Téder R.I., Ilitskaya E.I. and others. *Raspredelenie i korrelyatsiya fizicheskikh svoystv gornyh porod* [The distribution and correlation of physical properties of the rocks]. Moscow: Nedra, 1981, 192 p.

ЭНЕРГЕТИКА МЕТАЛЛУРГИИ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

УДК 621.316.721-83

Омельченко Е.Я., Моисеев В.О., Тележкин О.А.

АНАЛИЗ РАБОТЫ РЕГУЛЯТОРОВ ТОКА

Аннотация. Выполнен анализ 5 типов регуляторов тока по критериям качества, быстродействия, влияния возмущений и робастности. Представлены переходные процессы и ЛАЧХ, рассчитанные в программе MATLAB Simulink. Даны рекомендации по области применения регуляторов.

Ключевые слова: электропривод, регулятор тока, переходный процесс, ЛАЧХ.

Качество работы регуляторов в контурах тока систем подчиненного регулирования координат определяет последующую работоспособность системы автоматизированного электропривода (ЭП) постоянного [1] и переменного тока. Этим определяется актуальность рассматриваемой проблемы.

Качество работы системы регулирования определяется такими показателями, как качество и быстродействие переходного процесса по управляющему воздействию, реакция системы на гашение возмущающих воздействий, робастность системы регулирования. Хорошее качество определяется быстрым затуханием свободной составляющей переходного процесса при минимальном перерегулировании. Быстродействие при этом оценивается временем вхождения в зону установившегося значения $100 \pm 5\%$. Действие возмущающего воздействия в виде противоЭДС якорной или статорной обмоток на поведение тока должно быть сведено к минимуму. Высокочастотные помехи в виде пульсаций тока от коммутации тиристоров в системе «тиристорный преобразователь – двигатель» (ТП-Д) или ШИМ преобразователя частоты в системе «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» (ПЧ-АД) не должны влиять на устойчивую работу контура тока. Робастность (сохранение работоспособности системы регулирования при изменении её внутренних параметров) контура тока должна проявляться в незначительном изменении качества переходного процесса при колебаниях питающего напряжения или при изменении активного сопротивления статорной или якорной об-

моток из-за изменения их температуры или в зоне прерывистого тока.

Подобные исследования проводились [2, 3], однако анализу подверглось небольшое количество известных регуляторов тока. В статье анализируются следующие регуляторы:

1. Пропорционально-интегральный регулятор с настройкой на технический оптимум (ПИ).
2. Робастный регулятор с дополнительным контуром адаптации [2].
3. Двухконтурный (астатический) регулятор.
4. Цепочечный регулятор [4].
5. Двойной регулятор тока.

Структурные схемы контуров регулирования тока для данных регуляторов приведены на рис. 1, а передаточные функции регуляторов сведены в табл. 1.

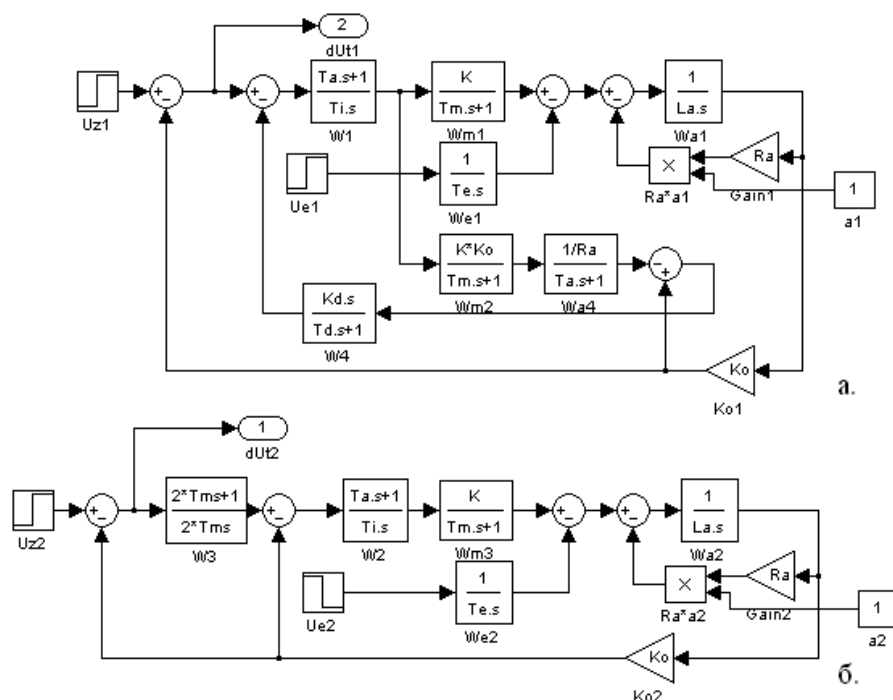


Рис. 1. Структурные схемы контуров регулирования тока

В **таблице**: T_a, L_a, R_a – постоянная времени, индуктивность потока рассеивания и активное сопротивление якорной или статорной обмотки; T_i – постоянная интегрирования ПИ-регулятора тока, с; K – коэффициент усиления тиристорного преобразователя или преобразователя частоты; T_m – минимальная некомпенсируемая постоянная времени, с; T_e – эквивалентная постоянная времени влияния ЭДС, с; a – коэффициент изменения активного сопротивления от температуры; K_o – коэффициент обратной связи по току, В/А; K_d – настроечный коэффициент робастного регулятора, с; T_d – малая постоянная времени, с.

Внешний (второй) регулятор – интегральную передаточную функцию:

$$W_3(s) = \frac{U_{31}(s)}{U_{32}(s) - U_O(s)} = \frac{1}{4T_ms},$$

которая делает контур тока астатическим по возмущающему воздействию.

Цепочечный регулятор повторяет внутренний контур двухконтурного регулятора, а внешний регулятор за счет передаточной функции

$$W_3(s) = \frac{U_{31}(s)}{U_{32}(s) - U_O(s)} = \frac{1 + 2T_ms}{2T_ms}.$$

Таблица 1

Передаточные функции регуляторов тока

Номер схемы	Наименование	$W_2(s)$	$W_3(s)$	$W_4(s)$	Рисунок
1	ПИ	-	-	0	1, а
2	Робастный	-	-	$K_d s / (1 + T_d s)$	1, а
3	Двухконтурный	$W_1(s)$	$1 / (4T_m)$	-	1, б
4	Цепочечный	$W_1(s)$	$(1 + 2T_ms) / (2T_ms)$	-	1, б
5	Двойной	K_p	$1 / (4T_m)$	-	1, б

обеспечивает большее быстродействие всего контура.

Двойной регулятор тока имеет два контура регулирования тока. Внутренний (первый) контур имеет пропорциональный регулятор, коэффициент усиления которого формирует апериодический переходный процесс, и рассчитывается по формуле

$$W_2(s) = \frac{U_Y(s)}{U_{31}(s) - U_O(s)} = K_p = \frac{(T_a - 2T_m)R_a}{2T_m K_o K}.$$

Типовой ПИ-регулятор с настройкой на технический оптимум имеет передаточную функцию

$$W_1(s) = \frac{U_Y(s)}{U_3(s) - U_O(s)} = \frac{R_a(1 + T_a s)}{2T_m K_o K s},$$

с помощью которой компенсируется инерционность якорной или статорной обмотки и формируется по управляющему (задающему) воздействию оптимальный переходный процесс.

Робастный регулятор тока отличается от ПИ-регулятора дополнительной цепью с передаточной функцией

$$W_4(s) = \frac{dU_4(s)}{U_O(s) - U_{a4}(s)} = \frac{K_d s}{1 + T_d s},$$

сигнал по которой формируется только тогда, когда происходит отклонение работы основного ПИ-регулятора при воздействии возмущающих помех или при параметрических изменениях в контуре регулирования. Робастный регулятор только корректирует работу основного регулятора, а глубина корректировки задаётся коэффициентом K_d , причем при больших коэффициентах коррекции может произойти перекомпенсация ослабления возмущающих воздействий.

Двухконтурный регулятор тока имеет два контура регулирования тока. Внутренний (первый) контур имеет стандартный ПИ-регулятор:

$$W_2(s) = \frac{U_Y(s)}{U_{31}(s) - U_O(s)} = W_1(s).$$

Внешний (второй) регулятор имеет такую же интегральную передаточную функцию, как двухконтурный регулятор. Двойные регуляторы тока успешно зарекомендовали себя в реверсивных тиристорных преобразователях типа ЭКТ производства ХЭМЗ, надежно работая на листовом стане горячей прокатки ЛПЦ-10 ОАО «ММК».

На **рис.2** представлены переходные процессы тока для заданных структурных схем при скачке задающего сигнала. В **табл. 2** приведены основные показатели переходных процессов (время максимума t и величина перерегулирования σ) для системы ТП-Д при $T_m = 5$ мс, $T_a = 30$ мс и значениях температурного коэффициента $a = 1,0; 0,7; 1,5$ (температура обмотки $\Theta = 40; -40; 150^\circ\text{C}$). Переходные процессы и ЛАЧХ рассчитывались с помощью программного пакета MATLAB Simulink.

Таблица 2

Показатели переходных процессов

Показатель	Номер схемы					
	1	2	3	4	5	a
t, мс	31,3	31,3	49,4	21,8	26,8	1,0
σ , %	4,3	4,3	8,2	5,2	4,9	
t, мс	30,9	29,2	46,2	21,6	26,7	0,7
σ , %	11,5	5,1	10,6	8,9	7,9	
t, мс	>100	35,8	57	23	28	1,5
σ , %	<0	3,9	6,5	0,1	0,7	
Δt , мс	>70	6,6	8	1,4	1,3	0,8
$\Delta \sigma$, %	<-11,5	-1,2	-4,1	-8,8	-7,2	

Достоверность полученных расчетов подтверждается совпадением известных параметров точки максимума при настройке ПИ-регулятора на технический оптимум: перерегулирование $\sigma = 4,3\%$; время максимума $t = 6,3T_m$.

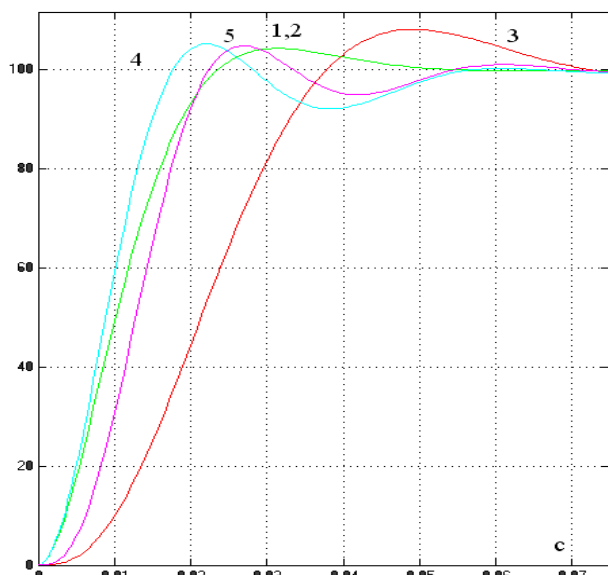


Рис. 2. Переходные процессы в контурах тока

Робастность регуляторов оценивалась изменением времени максимума $\Delta t = t_1 - t_2$ и изменением перерегулирования $\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_2$ при температурных коэффициентах $a_1 = 1,5$; $a_2 = 0,7$. Проведенный анализ показал, что лучшие показатели робастности имеет робастный регулятор (2). При увеличении активного сопротивления на 80% величина перерегулирования уменьшилась только на 1,2% с увеличением времени максимума на 6,6 мс, в то время как у ПИ-регулятора (1) эти показатели превышают 11,5% и 70 мс. Неплохие показатели у цепочечного регулятора (4) 8,8%, 1,4 мс и двойного регулятора (5) 7,2%, 1,3 мс. Очевидно, двухконтурный регулятор (3) из дальнейшего рассмотрения необходимо убрать, т.к. у него время максимума почти в 2 раза больше по сравнению с остальными регуляторами и перерегулирование составляет 8,2%.

Аналогичные результаты по робастности и качеству переходных процессов получены для системы ПЧ = АД при $T_m = 0,4$ мс и $T_a = 20$ мс.

Влияние возмущающих воздействий оценивалось по виду переходного процесса тока на линейное изменение ЭДС U_e (рис. 3) и по логарифмическим амплитудно-частотным характеристикам этих же переменных (рис. 4, 5), где $T_e = 2J_\Sigma \omega_N K_O / M_N / R_a$.

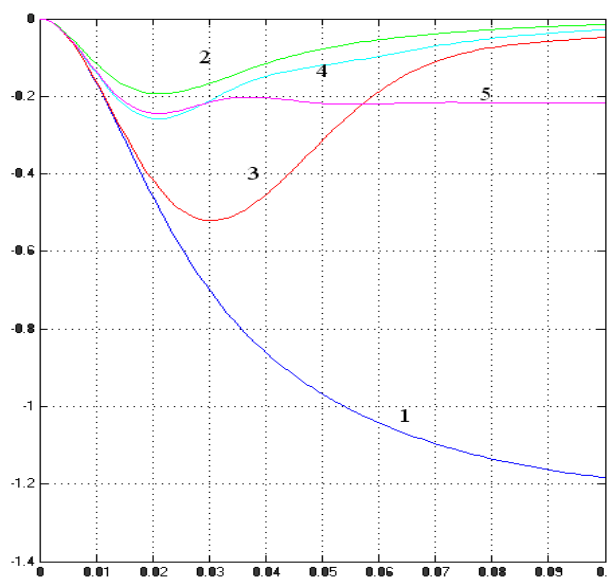


Рис. 3. Переходные процессы токов при линейном изменении ЭДС

Ошибка тока от действия ЭДС для ПИ-регулятора (1) имеет максимальное установившееся значение с временем переходного процесса $t_1 > 3T_a > 100$ мс. Установившееся значение ошибки для двойного регулятора (5) в 6 раз меньше, чем у ПИ-регулятора, а время переходного процесса $t_5 = 15$ мс. Остальные регуляторы имеют нулевую установившуюся ошибку, а время переходного процесса соизмеримо с временем ПИ-регулятора (1), причем у двухконтурного регулятора (3) величина ошибки превышает ошибку двойного регулятора (5) более чем в два раза.

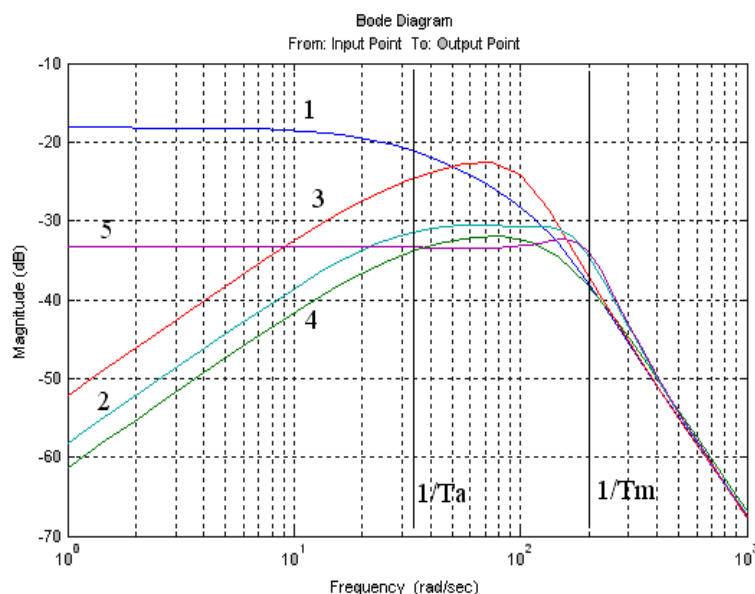


Рис. 4. ЛАЧХ контуров тока по возмущению от ЭДС в системе ТП-Д

Полученные переходные процессы полностью объясняются приведенными ЛАЧХ, по которым величина ошибки от действия ЭДС определяется высотой ЛАЧХ. Характеристики всех регуляторов на частотах, больших $\Omega_m > 1/T_m$, имеют наклон -40 дБ/дек, что говорит о хорошем гашении высокочастотных помех. Для регуляторов (2)-(4) на низких частотах наклон равен $+20$ дБ/дек, что говорит о малых ошибках на низких частотах или отсутствии ошибок по окончанию переходного процесса. На низких и средних частотах ПИ-регулятор (1) имеет самую высокую характеристику -18 дБ, а на низких частотах наклон характеристики равен 0 дБ/дек, что говорит о статической ошибке по току и максимальном времени переходного процесса. Двойной регулятор тока (5) тоже имеет на низких частотах характеристику $-33,5$ дБ с наклоном 0 дБ/дек (отличие в $15,5$ дБ), но этот участок на средних частотах самый низкий для всех регуляторов, что говорит о минимальном времени переходного процесса и статической ошибке, в 6 раз меньшей, чем у ПИ-регулятора.

Аналогичные результаты получены при анализе ЛАЧХ (рис. 5) и переходных процессов в системе ПЧ-АД. Горизонтальные участки ЛАЧХ ПИ-регулятора (1) и двойного регулятора (5) отличаются на $27,5$ дБ, что соответствует снижению ошибки тока в 24 раза.

Выводы

1. Двухконтурный регулятор не может быть рекомендован в быстродействующих системах регулирования из-за большого перерегулирования и длительного переходного процесса.

2. Типовой ПИ-регулятор обладает низкой робастностью и существенным влиянием возмущений по каналу ЭДС, поэтому не может рекомендоваться в системах регулирования с малой механической инерционностью и большими температурными перепадами.

3. Цепочечный и робастный регуляторы имеют

хорошие характеристики по робастности и гашению возмущающих воздействий, могут рекомендоваться для систем регулирования с нестационарными параметрами, однако они достаточно сложны и критичны в настройке. Эти регуляторы могут быть рекомендованы к применению в системах ТП-Д и ПЧ-АД.

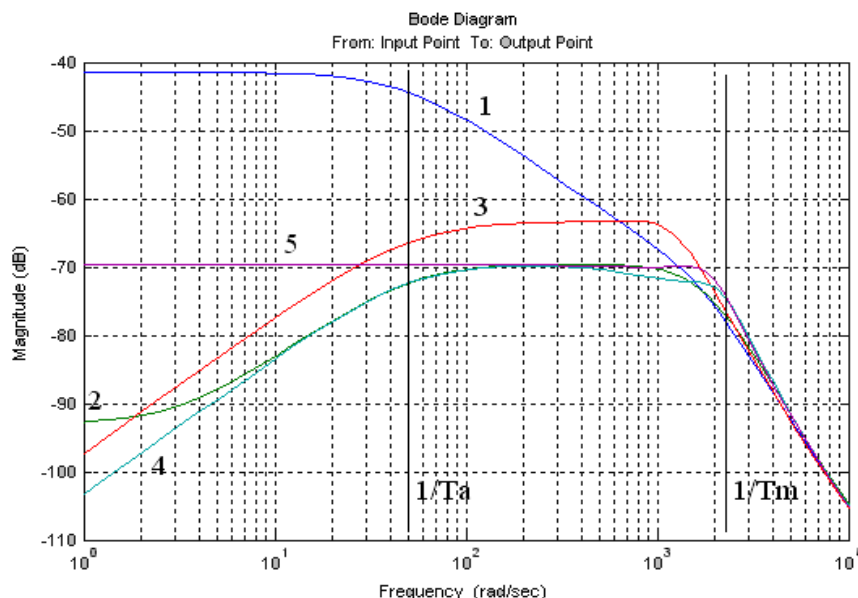


Рис. 5. ЛАЧХ контуров тока по возмущению от ЭДС в системе ПЧ-АД

4. Двойной регулятор тока самый простой и не критичный в настройке, имеет хорошие робастные характеристики, немного хуже гасит влияние возмущающих воздействий, но при этом имеет минимальное время переходных процессов, поэтому может быть рекомендован для применения в микропроцессорных системах регулирования ПЧ-АД.

Список литературы

1. Омельченко Е.Я., Фадеев А.В., Чесноков С.В. Модернизация электропривода четырехклетьевого плющильного стана // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2006. №2(14). С. 59-65
2. Ишматов З.Ш. Микропроцессорное управление электроприводами и технологическими объектами. Полиномиальные методы: монография. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2007. 278 с.
3. Омельченко Е.Я., Фащиленко В.Н., Коробкин П.В. Оценка контура тока по ошибке на входе регулятора тока // Горный информационно-аналитический бюллетень. 1996. №5. С. 40-43.
4. Рудаков В.В., Столяров И.М., Дартау В.А. Асинхронные электроприводы с векторным управлением. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1987. 136 с.

Сведения об авторах

Омельченко Евгений Яковлевич – канд. техн. наук, доц. кафедры автоматизированного электропривода и мехатроники ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: (3519) 29-85-29. E-mail: momentum2@yandex.ru.

Моисеев Владимир Олегович – аспирант кафедры автоматизированного электропривода и мехатроники ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: iskar@mail.ru.

Тележкин Олег Анатольевич – студент кафедры автоматизированного электропривода и мехатроники ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: gopko49@rambler.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

CURRENT REGULATORS WORK ANALYSIS

Omelchenko Evgenie Yakovlevich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519) 29-85-29 E-mail: momentum2@yandex.ru.

Moiseev Vladimir Olegovich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: iskar@mail.ru.

Telezhkin Oleg Anatol'evich – Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: gopko49@rambler.ru.

Abstract. Five types of current regulators have been analyzed according to the quality criteria, rapidity, disturbance influence and robustness. Transient processes and bode amplitude plot calculated in the MATLAB Simulink program are presented. Recommendations for the application of regulators are given.

Keywords: electric drive, current regulator, transient process, bode amplitude plot

References

1. Omelchenko E.Y., Fadeev A.V., Chesnokov S.V. Modernization of the four-stand flattening mill electric drive. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2006, no. 2(14), pp. 59-65.
2. Ishmatov Z.Sh. *Mikroprotsessornoe upravlenie ehlektroprivodami i tekhnologicheskimi ob'ektami* [Microcomputerized control of electric drives and production facilities. Multinomial methods]. Ekaterinsburg: USTU – UPI, 2007, 278 p.
3. Omelchenko E.Y., Fashilenko V.N., Korobkin P.V. Assessment of the current loop through error at the current regulator input. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten'* [Information and research mining bulletin]. 1996, no. 5, pp. 40-43.
4. Rudakov V.V., Stolyarov I.M., Dartau. V.A. *Asinkhronnye ehlektroprivody s vektornym upravleniem* [Asynchronous electric drives with the vector control]. Leningrad: Energoatomizdat, 1987, 136 p.

УДК 621.926.22

Кузбаков Ж.И.

ДИНАМИКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЩЕКОВОЙ ДРОБИЛКИ ПРИ НАГРУЗКЕ, ЗАВИСЯЩЕЙ ОТ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЭКСЦЕНТРИКОВОГО ВАЛА

Аннотация. Для снижения динамических нагрузок от колебательных процессов, возникающих при захвате плоских слитков металла дробящими плитами, рекомендуется дробление осуществлять послиточно.

Ключевые слова: эксцентриковый вал, жесткость, захват, момент дробления, слиток, коэффициент динамичности.

Известно, что переходные колебательные процессы приводят к значительной неравномерности вращения рабочего исполнительного органа машины. Амплитуда колебательной составляющей скорости обратно пропорциональна моменту инерции массы, шатун с подвижной щекой всегда приобретает дополнительную колебательную составляющую скорости, во много раз большую, чем ротор электродвигателя. Следовательно, когда в процессе захвата плоского слитка металла в приводе возбуждаются крутильные колебания, скорость захвата металла не совпадает со скоростью, задаваемой двигателем.

Наблюдения на практике показывают, что колебания являются причиной неустойчивого захвата материала, с возникновением пробуксовки шатуна, а иногда с выбросом материала из зева дробилки.

Следовательно, в приводе машины существует не только прямая связь (приложение нагрузки при захвате слитка дробящими плитами вызывает колебания системы привода), но и обратная связь, т.к. появившиеся крутильные колебания изменяют скорость вращения эксцентрикового вала с шатуном и оказывают влияние на процесс захвата материала.

Отклонение скорости исполнительного механизма машины и ее колебания являются причиной нарушения нормальной работы всего агрегата.

Все вышеизложенное вызывает необходимость в процессе динамического исследования приводов машин определить законы изменения перемещений звеньев в переходных процессах.

Следовательно, момент сил сопротивления, действующий на рабочий исполнительный орган щековой дробилки, можно представить в функции угла поворота эксцентрикового вала, т.е.

$$M_c = \begin{cases} M_c^0 + \frac{M_{\Pi}}{\varphi_3} \varphi & \text{при } 0 < \varphi \leq \varphi_3; \\ M_c^0 + M_{\Pi} & \text{при } \varphi > \varphi_3, \end{cases} \quad (1)$$

где M_c^0 – начальный момент; M_{Π} – момент дробления; φ_3 – угол захвата; φ – угол поворота вала.

С учетом зависимости для момента сопротивления (1) уравнения

$$J_n \ddot{\varphi}_n - h_{n-1,n} (\dot{\varphi}_{n-1} - \dot{\varphi}_n) - C_{n-1,n} (\varphi_{n-1} - \varphi_n) = M_c$$

применительно к двухмассовой физической модели привода в случае пренебрежения диссипативными потерями в механических звеньях при $0 < \varphi_2 \leq \varphi_3$ можно записать так:

$$J_1 \ddot{\varphi}_1 + c_{12} (\varphi_1 - \varphi_2) = M_0 - \beta \dot{\varphi}_1; \quad (2)$$

$$J_2 \ddot{\varphi}_2 - c_{12} (\varphi_1 - \varphi_2) = -(M_c^0 + c_\delta \varphi_2), \quad (3)$$

где $c_\delta = M_\delta / \varphi_3$ – технологическая жесткость при захвате.

Для определенности полагаем, что уравнение (2) удовлетворяет начальным условиям

$$\varphi_1(0) = \varphi_2(0) = 0, \quad \dot{\varphi}_1(0) = \dot{\varphi}_2(0) = \omega_H. \quad (4)$$

Разрешив дифференциальные уравнения (2) относительно φ_1, φ_2 , получаем

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1^{IV} + \frac{\beta}{J_1} \ddot{\varphi}_1 + \left(\frac{c_{12}}{J_1} + \frac{c_{12}}{J_2} + \frac{c_\delta}{J_2} \right) \ddot{\varphi}_1 + \frac{\beta}{J_1} \times \\ \times (c_{12} + c_\delta) \dot{\varphi}_1 + \frac{c_{12} c_\delta}{J_1 J_2} \varphi_1 = \frac{M_0 c_\delta}{J_1 J_2} + \frac{\Delta M c_{12}}{J_1 J_2}; \\ \varphi_1(0) = 0, \quad \dot{\varphi}_1(0) = \omega_H, \quad \ddot{\varphi}_1(0) = \ddot{\varphi}_1(0) = 0; \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1^{IV} + \frac{\beta}{J_1} \ddot{\varphi}_1 + \left(\frac{c_{12}}{J_1} + \frac{c_{12}}{J_2} + \frac{c_\delta}{J_2} \right) \ddot{\varphi}_1 + \frac{\beta}{J_1} \times \\ \times (c_{12} + c_\delta) \dot{\varphi}_1 + \frac{c_{12} c_\delta}{J_1 J_2} \varphi_2 = \frac{\Delta M c_{12}}{J_1 J_2}; \\ \varphi_2(0) = 0, \quad \dot{\varphi}_2(0) = \omega_H, \quad \ddot{\varphi}_1(0) = -\frac{M_c^0}{J_2}, \\ \ddot{\varphi}_2(0) = \frac{c_\delta \omega_H}{J_2}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Если пренебречь диссипацией, вносимой в систе-

му привода электродвигателем ($\beta = 0$), то уравнения (5,6) принимают вид

$$\begin{aligned} \varphi_1^{IV} + \left(\frac{c_{12}}{J_1} + \frac{c_{12}}{J_2} + \frac{c_\delta}{J_2} \right) \ddot{\varphi}_1 + \frac{c_{12} c_\delta}{J_1 J_2} \varphi_1 = \\ = \frac{\Delta M_0 c_\delta}{J_1 J_2} + \frac{\Delta M_0 c_{12}}{J_1 J_2}; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\varphi_1^{IV} + \left(\frac{c_{12}}{J_1} + \frac{c_{12}}{J_2} + \frac{c_\delta}{J_2} \right) \ddot{\varphi}_2 + \frac{c_{12} c_\delta}{J_1 J_2} \varphi_2 = \frac{\Delta M c_\delta}{J_1 J_2}. \quad (8)$$

Тогда, вычитая из (6) уравнения (7) и умножая разность на c_{12} , получаем дифференциальное уравнение для упругого момента M_{12} :

$$M_{12}^{IV} + \left(\frac{c_{12}}{J_1} + \frac{c_{12}}{J_1} + \frac{c_\delta}{J_2} \right) \ddot{M}_{12} + \frac{c_{12} c_\delta}{J_1 J_2} M_{12} = \frac{M_0 c_{12} c_\delta}{J_1 J_2}, \quad (9)$$

которое удовлетворяет начальным условиям

$$\begin{aligned} M_{12}(0) = \dot{M}_{12}(0) = 0, \\ \ddot{M}_{12}(0) = \frac{c_{12} M_c^0}{J_2}, \quad \ddot{M}_{12}(0) = \frac{c_{12} c_\delta \omega_H}{J_1 J_2}. \end{aligned} \quad (10)$$

Частоты собственных колебаний находим по следующей формуле [1]:

$$(\rho_{1,2})^2 = \frac{\rho_0^2}{2} \left[(1 + \gamma n_1) \mp \sqrt{(1 + \gamma n_1)^2 - 4 \gamma n_1 (1 - n_1)} \right], \quad (11)$$

$$\text{где } n_1 = J_1 / J_2; \gamma = c_\delta / c_{12}; \quad \rho_0^2 = c_{12} J_0 / J_1 J. \quad (12)$$

Были исследованы частоты собственных колебаний, определяемые формулой (11), в зависимости от безразмерных параметров n_1 и γ при изменении последних в пределах $0 \leq \gamma \leq 0,5$; $0,5 \leq n_1 < 1$.

Результаты этих исследований приведены в таблице.

Частоты собственных колебаний $p = f(n_1, \gamma)$

Параметр	p_1^2, p_2^2	$\gamma = 0,1$	p_2^2 / p_1^2	$\gamma = 0,3$	p_2^2 / p_1^2	$\gamma = 0,5$	p_2^2 / p_1^2
$n_1 = 0,5$	p_1^2	0,02437 p_0^2	42,08	0,0694 p_0^2	15,57	0,11 p_0^2	10,36
	p_2^2	1,02562 p_0^2		1,0806 p_0^2		1,14 p_0^2	
$n_1 = 0,7$	p_1^2	0,02 p_0^2	52,5	0,0545 p_0^2	21,19	0,083 p_0^2	15,18
	p_2^2	1,05 p_0^2		1,155 p_0^2		1,276 p_0^2	
$n_1 = 0,9$	p_1^2	0,0083 p_0^2	130,31	0,022 p_0^2	56,73	0,032 p_0^2	44,31
	p_2^2	1,0816 p_0^2		1,248 p_0^2		1,418 p_0^2	
$n_1 = 0,95$	p_1^2	0,0048 p_0^2	227,23	0,0115 p_0^2	110,74	0,0165 p_0^2	88,4
	p_2^2	1,0907 p_0^2		1,2735 p_0^2		1,45 p_0^2	

Из таблицы следует, что чем меньше γ и больше n_1 , тем больше частота (p_1) отличается от частоты (p_2). Поэтому в этих случаях решение, определяющее характер изменения выходных координат привода, будет содержать медленно и быстроменяющиеся гармонические составляющие. В любом случае p_1, p_2 удовлетворяют неравенству $0 \leq p_1 < p_2 \leq p_2$.

В соответствии с известными классическими теоремами в теории колебаний [1] воздействие на систему момента технологического сопротивления (1) можно трактовать физически как включение дополнительной жесткости c_d между исполнительным органом (J_2) и неподвижной бесконечно большой массой (слитком).

Следовательно, в дробилку можно загружать только один слиток, а не набор слитков, о чем было отмечено в работе [2].

Решения для $\varphi_1(t)$, $\varphi_2(t)$, $M_{12}(t)$, соответствующие интервалу $0 < \varphi_2 \leq \varphi_3$, в упрощенном виде запишем так:

$$\varphi_1(t) = \frac{M_0}{c_d} + \frac{\Delta M}{c_d} - \left(\frac{M_0}{c_d} + \frac{\Delta M}{c_d} \right) \times \frac{p_2^2}{p_2^2 - p_1^2} \times \cos p_1 t + \frac{\omega_H p_2^2}{p_1(p_2^2 - p_1^2)} \times \left(\sin p_1 t - \frac{p_1^3}{p_2^3} \sin p_2 t \right); \quad (13)$$

$$\varphi_2(t) = \frac{\Delta M}{c_d} - \frac{p_2^2}{p_2^2 - p_1^2} \frac{\Delta M}{c_d} \cos p_1 t - \frac{M_c^0}{J_2(p_2^2 - p_1^2)} (\cos p_1 t - \cos p_2 t) + \frac{\omega_H}{p_1(p_2^2 - p_1^2)} \times \left(p_2^2 - \frac{c_d}{J_2} \right) \sin p_1 t + \frac{\omega_H p_2^2}{J_2(p_2^2 - p_1^2)} \sin p_2 t; \quad (14)$$

$$M_{12}(t) = M_0 - \frac{p_2^2 M_0}{p_2^2 - p_1^2} \cos p_1 t + \frac{p_2^2 n_1 M_c^0}{p_2^2 - p_1^2} (\cos p_1 t - \cos p_2 t) + \frac{c_{12} c_d \omega_H}{J_2(p_2^2 - p_1^2)} \times \left(\frac{1}{p_1} \sin p_1 t - \frac{1}{p_2} \sin p_2 t \right). \quad (15)$$

Из выражений (13)-(15) следует, что на переменную $\varphi_1(t)$ в переходном процессе оказывают влияние только колебания на низкой частоте p_1 , в то время как на переменные $\varphi_2(t)$, $M_{12}(t)$ оказывают влияние также и колебания на высокой частоте p_2 .

Решения уравнений (13)-(15) будут справедливы для интервала времени $0 \leq t \leq t_3$, где t_3 определяется из решения трансцендентного уравнения вида

$$\varphi_3 = \frac{\Delta M}{c_d} - \frac{p_2^2}{c_d(p_2^2 - p_1^2)} \left(\Delta M + \frac{M_c^0 c_d}{p_2^2 J_2} \right) \cos p_1 t_3 + \frac{M_c^0 \cos p_2 t_3}{J_2(p_2^2 - p_1^2)} + \frac{\omega_H}{p_1(p_2^2 - p_1^2)} \times \left[\left(p_2^2 - \frac{c_d}{J_2} \right) \sin p_1 t_3 + \frac{c_d p_1}{J_2 p_2} \sin p_2 t_3 \right]. \quad (16)$$

После численного решения (16) найденное значение t_3 подставляем в выражение для $\varphi_1(t)$, $\varphi_2(t)$, $\varphi_3(t)$, после чего находим

$$\dot{\varphi}_1(t_3) = \varphi_{13}, \quad \dot{\varphi}_2(t_3) = \omega_{13}, \quad \dot{\varphi}_3(t_3) = \omega_{23}.$$

Тогда для интервала времени $t > t_3$ движение упругой системы привода будет описываться дифференциальными уравнениями

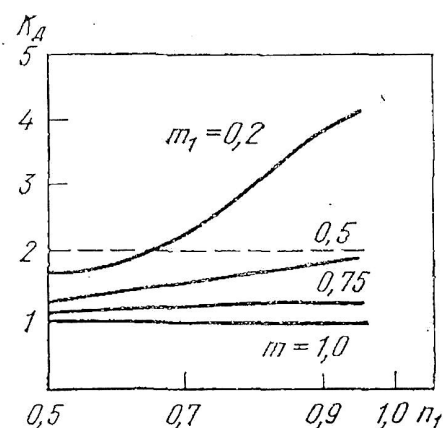
$$\begin{cases} J_1 \ddot{\varphi}_1 + c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) = M_0 - \beta \varphi_1; \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 + c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) = -M_c^y, \end{cases} \quad (17)$$

где M_c^y – установившееся значение момента технологического сопротивления, определяемое по формуле (1).

Система дифференциальных уравнений (17) в момент времени должна удовлетворять условиям

$$\begin{aligned} \varphi_1(t_3) &= \varphi_{13}, \quad \varphi_2(t_3) = \varphi_{23}, \\ \dot{\varphi}_1(t_3) &= \omega_{13}, \quad \dot{\varphi}_2(t_3) = \omega_{23}. \end{aligned}$$

В предположении малости последнего слагаемого в выражении (15) определен коэффициент динамичности $k = (M_{12})_{\max} / M_c^0$. в зависимости от безразмерных параметров: $n_1 = J_0 / J_1$; $m_1 = M_c^0 / M_0$. Результаты вычислений приведены на рисунке.



Влияние безразмерного параметра на коэффициент динамичности

Характер зависимости момента сил сопротивления от угла поворота эксцентрикового вала оказывает опре-

деленное влияние на величину коэффициента динамичности. Однако можно утверждать, что значение коэффициента динамичности не зависит от характера изменения нагрузки и определяется неравенством $1 < k_d < 2$.

Угол захвата при дроблении плоских слитков металла по расчетам формулы (16) должен составлять около 11° , в серийно выпускаемых щековых дробилках этот угол составляет $17^\circ 30'$ [3].

Сведения об авторе

Кузбаков Жанаберген Иманкулович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Металлургия», Актюбинский государственный университет им. К. Жубанова, г. Актюбе, Казахстан. Тел: (7132) 998578. E-mail: flora_karim@mail.ru.

Список литературы

1. Иванченко Ф.К., Красношапо В.А. Динамика металлургических машин. М.: Metallurgy, 1983. 295 с.
2. Кузбаков Ж.И. Условия эксплуатации и характер нагружения щековых дробилок при дроблении особопрочных материалов // Комплексная переработка минерального сырья: материалы междунар. науч.-практ. конференции. Караганда, 2008. С. 220-228.
3. Клушанцев Б.В., Косарев А.И., Музеймнек Ю.Ф. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации. М.: Машиностроение, 1990. 320 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE ELECTRIC DRIVE DYNAMIC OF JAW CRUSHER IN LOADING, DEPENDING ON ECCENTRIC SHAFT TRANSFERRING

Kuzbakov Zhanabergen Imankulovich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Zhubanov named Aktobe Regional State University, Aktobe, Kazakhstan. Phone: (7132) 998578. E-mail: flora_karim@mail.ru.

Abstract. To reduce dynamic loads from vibratory processes, which emerge when the crushing plates grab flat-shaped metal ingots, ingot by ingot crushing is recommended.

Keywords: eccentric shaft, harder, grab, crushing moment, ingot, amplification factor.

References

1. Ivanchenko F.K., Krasnoschapko V.A. *The dynamics of metallurgical*

machine. Moscow: Metallurgy, 1983, 295 p.

2. Kuzbakov Z.I. Operating conditions and the nature of the loading of in crushing cheek grinder the extra strong materials by crushing. *Komplex processing of mineral raw materials.* Materials of the international scientific-practical conferences. Karaganda, 2008, pp. 220-228.
3. Kluchancev B.V., Kosarev A.I., Museimnek U.F. *Grind. Peculiarity of operation with construction, calculation.* Moscow: Mechanical engineering, 1990, 320 p.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 693.552

Мирюк О.А.

ОПТИМИЗАЦИЯ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА ТЕХНОГЕННОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме расширения сырьевой базы строительной индустрии. Доказана возможность получения дробленого песка из зернистых техногенных материалов. Выявлено, что повышенная крупность частиц отходов обуславливает необходимость классификации материалов. Определены оптимальные составы фракций из частиц отсева дробления гранодиоритов. Предложены составы фракций из частиц измельченных отходов обогащения скарново-магнетитовых руд. Разработана технологическая схема безотходной переработки зернистых техногенных материалов.

Ключевые слова: мелкозернистый бетон, техногенные материалы, заполнитель.

Мелкозернистый бетон на техногенном заполнителе – объект многочисленных современных исследований. Это обусловлено необходимостью и возможностью расширения сырьевой базы перспективного вида бетона при возрастающем дефиците природного заполнителя и накоплении многотоннажных зернистых промышленных отходов [1-4].

Цель работы – оптимизация состава заполнителя из техногенных материалов для мелкозернистого бетона.

Объект исследования: отсев дробления гранодиоритов Надеждинского месторождения Костанайской области; отходы обогащения скарново-магнетитовых руд Соколовско-Сарбайского горно-производственного объединения (ССГПО).

Отсев дробления гранодиоритов выделяется при производстве щебня и представляет собой смесь частиц с размером не более 10 мм. Минеральный состав отсева дробления, мас. %: плагиоклазы 35-40; калиевые полевые шпаты 20-26; кварц 15-37; биотит – до 3.

Отходы обогащения скарново-магнетитовых руд образуются при сухой магнитной сепарации (хвосты СМС) полиминеральных пород. Хвосты СМС – дезинтегрированная масса, размер зерен которой не превышает 25 мм. Минеральную основу отходов составляют силикаты, отличающиеся генезисом, мас. %: пироксены 20-25; эпидот 10-13; полевые шпаты 8-12; хлориты 7-10; скаполит 8-11; гранаты 7-12; амфиболы 7-14. В отходах присутствуют, мас. %: кальцит 4-7; пирит 4-8; кварц 2-4; магнетит 3-4.

Пестрота минерального состава и диапазон размеров зерен хвостов СМС, не коррелирующие с характеристиками традиционных заполнителей, исключили отходы из перечня ресурсов для зернистых компонентов бетона. Однако указанные особенности

хвостов СМС обуславливают возможность их механической переработки для получения фракций частиц заданного состава.

Характеристика фракционного состава исходных техногенных материалов представлена в табл. 1.

Таблица 1

Фракционный состав техногенных зернистых материалов

Остатки на ситах, %	Фракция, мм								
	40-20	20-10	10-5	5-2,5	2,5-1,25	1,25-0,63	0,63-0,315	0,315-0,14	0,14-0
Отсев дробления гранодиоритов									
Частные	–	–	0,43	33,37	17,30	22,2	15,03	7,27	4,37
Полные	–	–	0,43	33,80	51,13	73,33	88,37	95,63	100
Отходы обогащения скарново-магнетитовых руд									
Частные	55,69	39,80	3,34	0,41	0,05	0,03	0,07	0,33	0,28
Полные	55,69	95,49	98,83	99,24	99,29	99,32	99,39	99,72	100

Зерновой состав исследуемых отходов предопределяет возможность получения на их основе искусственного песка. Отходы обогащения руд, как крупнозернистый материал, измельчали в лабораторной щековой дробилке в несколько стадий. Кривые зернового состава хвостов СМС после трех стадий дробления и кривые исходного отсева дробления гранодиоритов расположены за пределами области, рекомендуемой для песка – заполнителя бетона (рис. 1), из-за наличия в массе частиц крупностью более 5 мм.

Отделение фракции частиц крупнее 5 мм позволяет получать из исследуемых техногенных материалов пески с модулем крупности 3,8-3,9. Крупность таких песков при использовании в бетоне обусловит увеличение расхода цемента за счет повышенной пустотности.

Результаты, полученные различными исследователями [3-5], показывают целесообразность фракционирования искусственных песков на основе техногенных отходов. Отмечена эффективность сочетания искусственного и природного заполнителей, обеспечивающего плотную структуру мелкозернистому бетону.

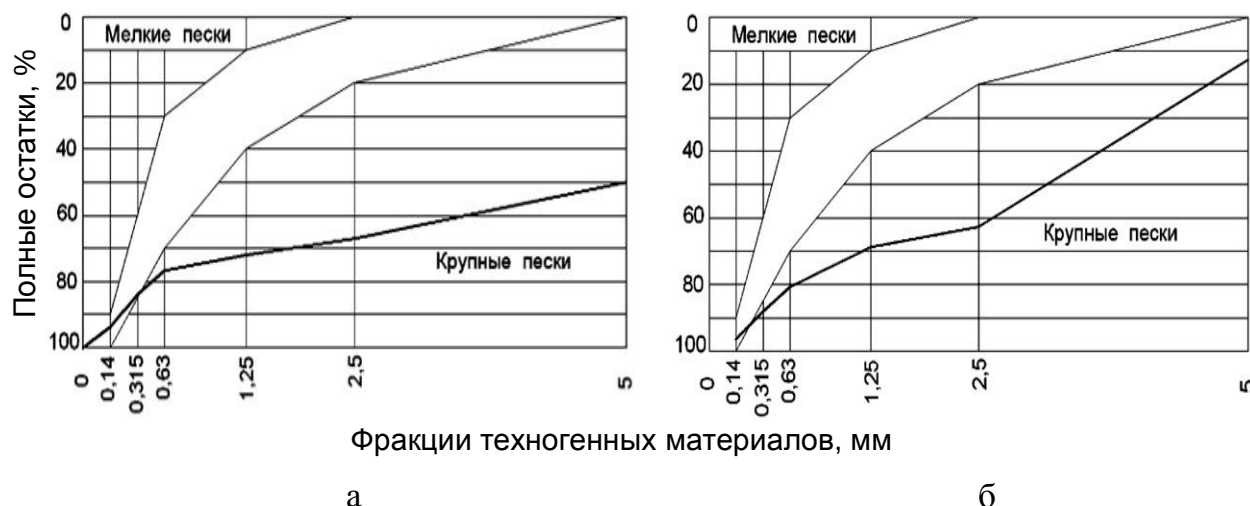


Рис.1. Зерновой состав отсева дробления гранодиоритов (а) и дробленных отходов обогащения скарново-магнетитовых руд (б)

Таблица 2

Характеристика вариаций фракционированного заполнителя из отсева дробления гранодиоритов

Фракционный основной состав массы, мм	Содержание мелкой фракции «0,14-0,63 мм», %	Насыпная плотность, кг/м ³ , состояние		Пустотность, %, состояние	
		рыхлое	уплотненное	рыхлое	уплотненное
«0,63 – 1,25» + «1,25 – 5,0»	нет	1268	1492	50,0	41,3
	5	1306	1484	48,6	41,6
	10	1308	1486	48,6	41,6
	15	1313	1488	48,4	41,5
	20	1317	1494	48,3	41,3
	25	1326	1498	47,9	41,2
	30	1332	1503	47,7	41,0
Исходная		1373	1554	38,2	30,0

Зерновой состав отсева дробления отличается от рекомендуемого для мелкого заполнителя бетона и требует корректировки путем фракционирования с последующим составлением зерновой массы заданного состава.

При формировании фракционированного заполнителя в качестве основы принята двухфракционная смесь из частиц непрерывного зернового состава «1,25-5,0 мм» : «0,63-1,25 мм» с соотношением 1:0,41 (мас. часть), определенным расчетным путем.

Методом пошагового дополнения состава двухфракционной смеси мелкой фракцией «0,14-0,63 мм» получены вариации фракционированного заполнителя. Отмечено, что по мере увеличения доли фракции «0,14-0,63 мм» возрастает значение насыпной плотности, уменьшается пустотность (табл. 2).

Для оптимизации зернового состава фракционированного заполнителя из отсева дробления использован метод математического планирования эксперимента. Исследованы мелкозернистые бетонные смеси с соотношением «портландцемент М400 : заполнитель – 1 : 2». Прочностные показатели бетона определяли при испытании образцов размером 40х40х160 мм. Количество воды затворения подбирали для получения равноподвижных формовочных масс с распылом конуса 120 – 130 мм. Твердение бетонных образцов происходило в воздушно-влажных условиях. При достижении образцами необходимого возраста производили испытания на прочность.

При помощи программы Statistica 6.0 разрешена матрица, получены допустимые области смесей фракций на треугольных диаграммах.

Исследуемая смесь состоит из трех компонентов – фракций отсева дробления гранодиоритов, мм: «0,14-0,63»; «0,63-1,25»; «1,25-5». Любая смесь трех компонентов может быть представлена точкой в системе координат на треугольнике, определяемой тремя переменными. Сумма для каждой смеси равна 1,0, поэтому значения компонентов в каждой смеси могут интерпретироваться как пропорции (табл. 3).

Таблица 3

Условия эксперимента для отсева дробления гранодиоритов

Факторы		Уровни варьирования		
Натуральный вид	Кодированный вид	-1	0	+1
Доля фракции «1,25 – 5,0 мм»	X ₁	0,44	0,54	0,64
Доля фракции «0,63 – 1,25 мм»	X ₂	0,24	0,34	0,44
Доля фракции «0,14 – 0,63 мм»	X ₃	0,12	0,22	0,32

В результате обработки экспериментальных данных получены зависимости прочности (R) и средней плотности (ρ) от исследуемых факторов – содержания фракций заполнителя в виде уравнений регрессии полной квадратичной модели:

$$R = 35,8 - 5,9x_1 - 5,4x_2 - 4,8x_3 + 31,86x_1x_2 + 28,32x_1x_3 + 25,92x_2x_3 + 34,81x_1^2 + 29,16x_2^2 + 23,04x_3^2. \quad (1)$$

$$\rho = 2204 - 16,7x_1 - 15,8x_2 - 14,3x_3 + 263,86x_1x_2 + 238,81x_1x_3 + 225,94x_2x_3 + 278,89x_1^2 + 249,64x_2^2 + 204,49x_3^2. \quad (2)$$

Геометрическая интерпретация уравнений регрессии представлена на рис. 2.

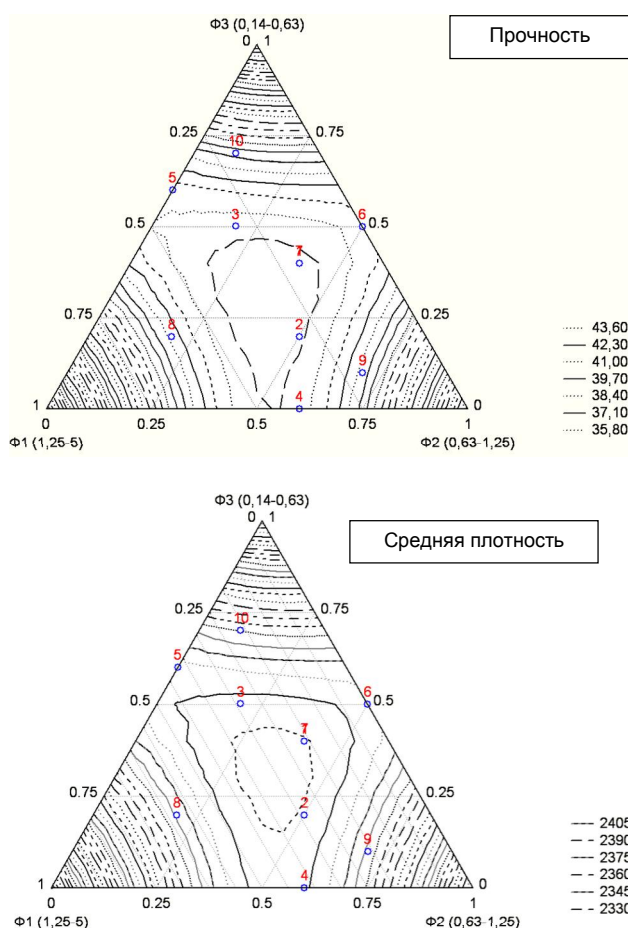


Рис. 2. Поверхности отклика зависимости свойств мелкозернистого бетона от фракционного состава заполнителя

Наибольшие показатели прочности и плотности мелкозернистого бетона достигаются при преобладании в смеси крупной фракции «1,25-5,0 мм» – не менее 50%; при соотношении фракций «0,63-1,25 мм» : «0,14-0,63 мм», равном 1,1-2,0 : 1,0.

Предварительные исследования подтвердили принципиальную возможность использования хвостов СМС в составе мелкозернистого бетона. При многостадийном дроблении отходов обогащения руд образуется крупный песок (модуль крупности 3,8-3,9).

Для оптимизации зернового состава техногенного заполнителя – искусственного песка на основе хвостов СМС использовали метод математического планирования эксперимента (табл. 4). В соответствии с полной матрицей ротatableльного двухфакторного эксперимента исследовали 9 составов бетонов, приготовленных по методике, аналогичной описанной выше.

Таблица 4

Условия эксперимента для отходов обогащения руд

Факторы		Уровни варьирования				
Натуральный вид	Кодированный вид	-1,414	-1	0	+1	+1,414
Доля фракции «2,5-5,0 мм», %	X_1	50,00	53,66	62,50	71,34	75,00
Соотношение фракций, мм: «0,63-2,5» : «0,14-0,63»	X_2	1,50	1,94	3,00	4,06	4,50

При обработке экспериментальных данных с помощью методов математической статистики получена зависимость прочности мелкозернистого бетона от содержания отдельных фракций в виде уравнения регрессии:

$$R = 16,389 - 0,283x_1 - 0,638x_2 - 0,505x_1x_2 + 1,536x_1^2 + 1,882x_2^2. \quad (3)$$

Уравнение регрессии для зависимости модуля крупности от фракционного состава заполнителя:

$$M_K = 2,541 + 0,002x_1 + 0,003x_2 - 0,008x_1x_2 + 0,002x_1^2 - 0,001x_2^2. \quad (4)$$

Уравнение регрессии для зависимости насыпной плотности от фракционного состава заполнителя:

$$\rho_n = 1420,61 + 2,91x_1 + 20,24x_2 - 23,97x_1x_2 + 52,45x_1^2 + 14,66x_2^2. \quad (5)$$

Анализ уравнений регрессии позволил определить оптимальную область фракционного состава заполнителя, %: «2,5-5,0 мм» – 62,5...75,0; «0,63-2,5 мм» – 16,7...22,5; «0,14-0,63 мм» – 8,3...15,0.

Сравнительные испытания мелкозернистых бетонов на заполнителях природного и техногенного происхождения показали сопоставимые результаты и подтвердили принципиальную возможность получения мелкого заполнителя с использованием отходов обогащения руд. Высокие прочностные показатели бетона из отходов обусловлены формированием связей на контакте между цементным камнем и заполнителем.

Разработана технологическая схема получения фракционированного материала путем дополнительного измельчения и классификации дробленых отходов обогащения руд (рис. 3). Классификация дробленой массы предложена по сухому способу на вибрационных грохотах.

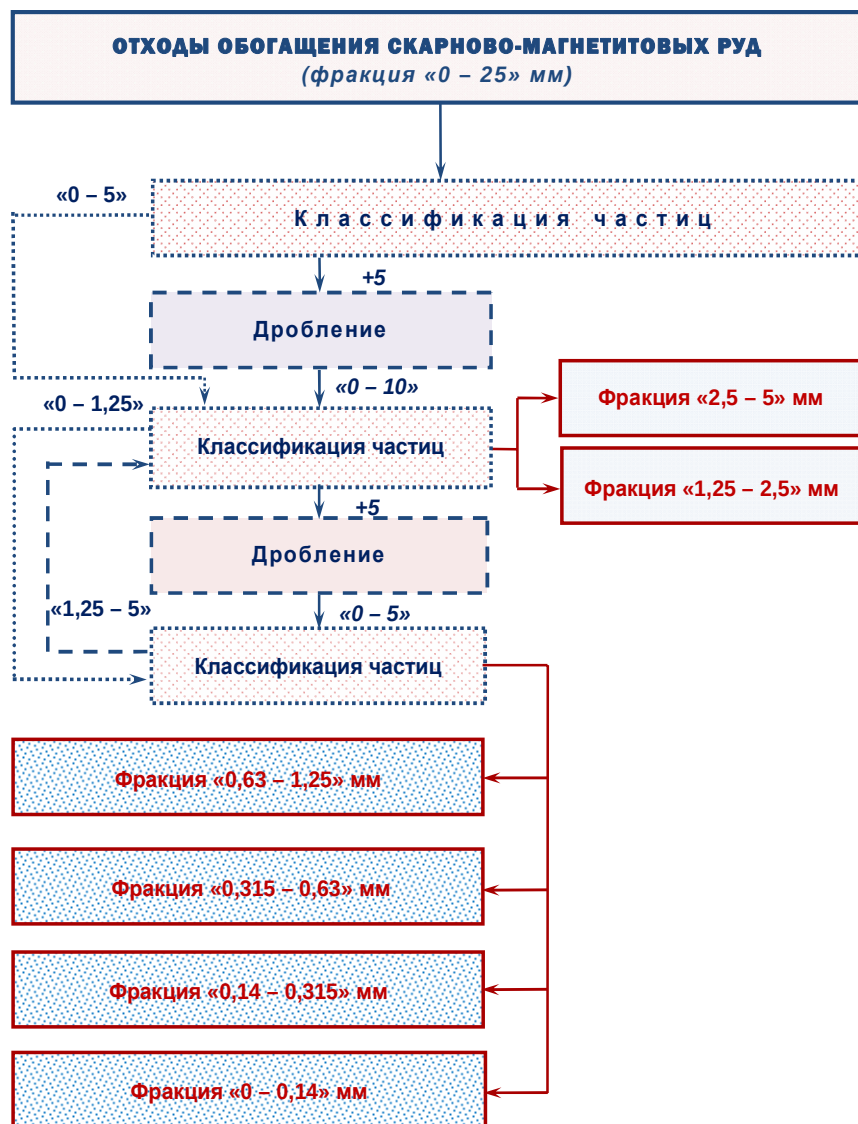


Рис. 3. Схема получения фракционированного техногенного материала

Выделяемые из общей массы частицы с повышенной прочностью и твердостью целесообразны в качестве заполнителя бетона. Крупные частицы представлены силикатами, сформированными в ранние геологические периоды. Тонкие фракции отходов – составляющая цементных сырьевых смесей и вяжущих композиций, образованных смешением молотых компонентов [6].

Выводы

Зерновой состав большинства техногенных материалов отличается от рекомендуемого для мелкого заполнителя бетона и требует корректировки путем

дополнительного измельчения и классификации дробленого материала.

Разделение зернистой массы по размеру частиц позволит получать фракционированный песок заданного состава, исключит пылеватые и другие нежелательные составляющие, обеспечит безотходность технологии переработки техногенного материала.

Оптимизирован зерновой состав фракционного заполнителя из техногенных материалов различного происхождения: отсева дробления гранодиоритов и отходов обогащения скарново-магнетитовых руд. Оптимизация фракционного состава техногенных заполнителей мелкозернистого бетона, выполненная с использованием различных методов, выявила совпадающие области составов зернистых материалов.

Для достижения наибольших значений прочности и плотности мелкозернистого бетона целесообразно обеспечить преобладание крупной фракции «2,5-5,0 мм». При этом необходимо рациональное сочетание указанной фракции с частицами меньшего размера: средняя фракция «0,63-2,5 мм» не должна превышать по содержанию мелкую фракцию «0,14-0,63 мм» более чем в 2 раза.

Результаты исследований свидетельствуют о целесообразности расширения сырьевой базы стройиндустрии за счет отсева дробления гранодиоритов и возможности организации малоотходной технологии производства щебня.

Пестрый состав и многообразие типов минералов позволяют рассматривать отходы обогащения скарново-магнетитовых руд как сырье полифункционального назначения. Многоэтапное из-

мельчение отходов с отделением заданных фракций зерен обеспечит получение целого ряда полезных продуктов: мелкозернистого заполнителя; сырьевых компонентов для синтеза клинкерных и смешанных вяжущих.

Технико-экономическая целесообразность комплексного использования техногенных материалов для производства компонентов бетона подтверждается данными о максимальной реализации преимуществ исходного состояния отхода и минимальной технологической переработке сырья, высокими характеристиками продукции.

Список литературы

1. Баженов Ю.М. Многокомпонентные мелкозернистые бетоны // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. 2001. №10. С. 15.
2. Мелкозернистые бетоны для малых архитектурных форм / П.В. Лесовик и др. // Строительные материалы. 2005. №11. С. 66-67.
3. Влияние фракционирования и механоактивации заполнителя на свойства мелкозернистых бетонов / М.С. Гаркави и др. // Строительные материалы и изделия: межвуз. сб. науч. тр. Магнитогорск: МГТУ, 2007. С. 111-115.
4. Муртазаев С.-А.Ю., Исмаилова З.Х. Использование местных техногенных отходов в мелкозернистых бетонах // Строительные материалы. 2008. №3. С. 57-58.
5. Мирюк О.А. Мелкозернистые бетоны на основе техногенного заполнителя // Бетон и железобетон в Украине. 2010. №2. С. 5-8.
6. Мирюк О.А., Ахметов И.С. Вяжущие вещества из техногенного сырья. Рудный: РИИ, 2002. 250 с.

Сведения об авторе

Мирюк Ольга Александровна – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой строительства и строительного материаловедения Рудненского индустриального института, Казахстан. Тел.: 8(71431) 5-07-03. E-mail: psm58@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

OPTIMIZATION OF TECHNOGENIC FILLER FRACTIONAL PROPORTION OF FINE GRAINED CONCRETE

Miryuk Olga Aleksandrovna – D.Sc. (Eng.), Professor, Roudny Industrial Institute, Kazakhstan. Phone: 8(71431) 5-07-03. E-mail: psm58@mail.ru.

Abstract. The article is devoted to the problem of expansion the raw-material base of the building industry. The possibility for crushing sand obtaining from technogenic materials is proved. It was educed that increased size of waste particles results in the necessity for materials classification. The optimum fractions proportions of particles from granodiorite crushing dropping have been defined. The particle fraction proportions from crushed skarn-magnetite ore tailings are presented. The process flowsheet of waste-free processing of granular technogenic materials has been developed.

Keywords: fine grain concrete, technogenic materials, filler.

References

1. Bajenov U.M. Compounding fine grain concrete. *Stroitelnyie materialy, oborudovanie i tehnologii XXI veka* [Building Materials, equipment and technologies of XXI century]. 2001, no. 10, p. 15.
2. Lesovik R.V. and other. Fine grain concrete for small architectural forms. *Stroitelnyie materialy* [Building Materials]. 2005, no. 11, pp. 66-67.
3. Garkavi M.S. and other. Influence of fractionation and mechano-activated aggregate on the properties of fine-grained concrete. *Stroitelnyie materialy i izdeliya: mezhvuz. sb. nauch. tr.* [Building Materials and manufactures: Interuniversity collection of scientific papers]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2007, pp. 111-115.
4. Murtazaev S.-A.U., Ismailova Z. Kh. The use of local industrial waste in fine concrete. *Stroitelnyie materialy* [Building Materials]. 2008, no. 3, pp. 57-58.
5. Miryuk O.A. Fine grain concrete on the base of by-product aggregate. *Beton i zhelezobeton v Ukraine* [Concrete and reinforced concrete in Ukraine]. 2010, no. 2, pp. 5-8.
6. Miryuk O.A., Akhmetov I.S. *Vyazhushchie veschestva iz tehnogenogo syrya* [Cementitious agents from by-products]. Roudny: RII, 2002, 250 p.

ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И РЫНОК ПРОДУКЦИИ. ПРАВО

УДК 338.24

Красносельская Д.Х., Кочетков С.М.

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ ПРОПОРЦИЙ НОРМ НАКОПЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОГО И ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ «НОРМАТИВНЫХ» ПАРАМЕТРОВ*

Аннотация. В статье предложена модель выбора оптимального соотношения норм накопления физического и человеческого капитала для Республики Башкортостан на основе метода бенчмаркинга. Образ региона-аналога представлен «нормативными» параметрами рассматриваемого региона, полученными в результате внутреннего бенчмаркинга (самодиагностики).

Ключевые слова: бенчмаркинг, регион-аналог, человеческий капитал, физический капитал.

Концепция партнерства является основополагающей в бенчмаркинге. Однако, несмотря на растущую популярность применения метода на различных уровнях управления, проблема поиска и идентификации партнера по бенчмаркингу является недостаточно проработанной российскими и зарубежными исследователями как в части формирования определяющих критериев выбора потенциальных партнеров, так и в части вопросов сопоставимости ключевых процессов, функций анализируемых экономических систем. На микроуровне ключевыми критериями выбора партнера являются: географическое месторасположение компании, размер, структура, ассортимент выпускаемой продукции, применяемые технологии, система менеджмента [1, с. 17]; результирующие показатели деятельности (прибыль, выручка), организационная структура фирмы [2, с. 20].

С точки зрения применения инструментария пространственного бенчмаркинга (ПБМ), определенный интерес представляет исследование Reilly R., Jencks C., Hedges C., посвященное вопросам выбора региона-аналога для округа Дакота (США) [3]. Разработчиками выделены следующие критерии: среднемесячный доход домохозяйств; доля молодого населения в общей численности населения; среднее время в пути до работы; расовый состав населения; доля выпускников университетов; уровень бедности; доля жилой недвижимости, находящейся в собственности домовладельцев; средняя стоимость частных домовладений.

В практике российских исследований региональной направленности впервые критерии выбора региона-аналога были предложены Климовой Н.И., Чередниковой Л.Ю. (масштаб региона, территориальная специализация, уровень развития) в работе [4, с. 316].

В случае ПБМ основополагающие критерии, главным образом, должны адекватно отражать вопро-

сы сопоставимости территорий вследствие высокого уровня дифференциации социально-экономического развития регионов как субфедеральных единиц, имеющих отличительные характеристики, обусловленные географическими, социально-экономическими, геополитическими, этническими и природными факторами. В настоящее время в рамках применения концепции бенчмаркинга не существует общепринятой методики межрегиональных сопоставлений уровня социально-экономического развития регионов. Кроме того, недостаточно изучены особенности механизмов управления специфическими, исторически обусловленными формами региональных хозяйств различных субъектов РФ. С учетом данных условий представляется целесообразным и логичным применение внутреннего ПБМ при анализе структурных параметров экономики территории.

В рамках данной статьи авторами предлагается разработка и апробация модели ПБМ для Республики Башкортостан (рассматриваемый регион). «Гипотетический» образ региона-аналога представлен «нормативными» параметрами рассматриваемого региона, полученными в результате внутреннего бенчмаркинга (самодиагностики). В качестве ключевых параметров территорий-участников используются нормы инвестиций в человеческий и физический капитал. «Нормативные» параметры представляют собой оптимальные уровни накопления физического и человеческого капиталов, максимально приближенные к эталону, к которым стремится рассматриваемый регион, с учетом собственных ограничений.

Формализация модельной конструкции на основе принципов комплексного учета источников территориального развития, в качестве которых выступают инвестиции в человеческий и физический капитал, использование инструментария пространственного бенчмаркинга, а также подготовка массива статистической информации для расчетов осуществлена Красносельской Д.Х., конечная детализация и схема расчетов проведены Кочетковым С.М.

Предполагается, что рассматриваемый регион в t-м году вычисляет прогнозные параметры на следу-

* Работа подготовлена при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда, проект №12-12-02000а «Инструментарий идентификации экономического профиля территории и его использование для обоснования зон инновационного роста Республики Башкортостан».

ющий год $f_{np}^p(t+1)$, $m_{np}^p(t+1)$, так чтобы приблизиться к своим «нормативным» параметрам $f_{норм}^p(t)$, $m_{норм}^p(t)$ и удовлетворить ограничениям. Однако в течение $(t+1)$ года рассматриваемому региону не удается точно реализовать прогнозные параметры из-за случайных неучтенных факторов (изменение цен на энергоносители, природные условия и др.), поэтому фактические параметры отличаются от прогнозных на случайную величину:

$$f_{факт}^p(t+1) = f_{np}^p(t+1) + \varepsilon^f(t+1), \quad (1)$$

$$m_{факт}^p(t+1) = m_{np}^p(t+1) + \varepsilon^m(t+1), \quad (2)$$

где $\varepsilon^f(t+1)$, $\varepsilon^m(t+1)$ – отклонения от прогнозных параметров.

Пусть «нормативный» показатель инвестиций в физический капитал в секторах экономики рассматриваемого региона в год t равен

$$f_{норм}^p(t) = I_{норм}^p / Y_{норм}^p, \quad (3)$$

где $I_{норм}^p$ – инвестиции в основной капитал; $Y_{норм}^p$ – валовой региональный продукт.

«Нормативный» показатель накопления человеческого капитала определяется

$$m_{норм}^p(t) = E_p \cdot S_{норм}^p / Y_{норм}^p, \quad (4)$$

где E_p – средняя годовая стоимость обучения одного студента; $S_{норм}^p$ – количество студентов.

Прогнозные нормы инвестиций рассматриваемого региона в $(t+1)$ год определяются следующим образом:

$$f_{np}^p(t+1) = I_{np}^p(t+1) / Y_{np}^p(t+1); \quad (5)$$

$$m_{np}^p(t+1) = E_p \cdot S_{np}^p(t+1) / Y_{np}^p(t+1). \quad (6)$$

По технологии бенчмаркинга требуется определить параметры накопления физического и человеческого капиталов рассматриваемого региона на условиях максимального приближения к эталону. То есть в качестве расчетных параметров принимаются «нормативные» объемы инвестиций в физический и человеческий капитал, определяемые при условии, что их величины минимально отличаются от прогнозных. В данной постановке целевая функция принимает вид:

$$(f_{норм}^p(t) - f_{np}^p(t+1))^2 + (m_{норм}^p(t) - m_{np}^p(t+1))^2 \rightarrow \min. \quad (7)$$

Считается, что экономика региона находится в равновесии, тогда согласно уравнению равновесия модели Мэнкью-Ромера-Уэйла [5, с. 417]:

$$\ln\left(\frac{Y}{L}\right) = \ln(A(0)) + gt - \frac{\alpha + \beta}{1 - \alpha - \beta} \ln(n + g + \delta) + \frac{\alpha}{1 - \alpha - \beta} \ln(f) + \frac{\beta}{1 - \alpha - \beta} \ln(m), \quad (8)$$

где Y – агрегированный выпуск (ВРП); L – численность экономически активного населения; A – уровень технологии; α и β – параметры производственной функции ($0 < \alpha < 1$, $0 < \beta < 1$).

Считается, что технологический прогресс и население растут экспоненциально с темпами роста G и N соответственно.

$$A = A(0)e^{Gt}; \quad (9)$$

$$L = L(0)e^{Nt}. \quad (10)$$

Выразим из уравнения (8) Y , после преобразования получим:

$$Y = LA(0)e^{gt} (n + g + \delta)^{\frac{\alpha + \beta}{1 - \alpha - \beta}} (f)^{\frac{\alpha}{1 - \alpha - \beta}} (m)^{\frac{\beta}{1 - \alpha - \beta}}. \quad (11)$$

Предполагается, что сальдо экспорта и импорта в модели несущественно, т.е.

$$Y = C + I. \quad (12)$$

$$\text{Откуда } C = Y - I = Y - Y(f + m) = Y(1 - (f + m)) \quad (13)$$

Подставим в выражение (13) уравнение (11), после преобразований получим:

$$C = LA(0)e^{gt} (n + g + \delta)^{\frac{\alpha + \beta}{1 - \alpha - \beta}} (f)^{\frac{\alpha}{1 - \alpha - \beta}} \times (m)^{\frac{\beta}{1 - \alpha - \beta}} (1 - (f + m)). \quad (14)$$

1) Условие сохранения объема текущего конечного потребления.

Данное условие может быть формализовано ограничением вида

$$C^{np}(t+1) > C^{факт}(t), \quad (15)$$

или после преобразований

$$e^g \left(\frac{f_{np}^p(t+1)}{f_{факт}^p(t)} \right)^{\frac{\alpha}{1 - \alpha - \beta}} \left(\frac{m_{np}^p(t+1)}{m_{факт}^p(t)} \right)^{\frac{\beta}{1 - \alpha - \beta}} \times \frac{(1 - (f_{np}^p(t+1) + m_{np}^p(t+1)))}{(1 - (f_{факт}^p(t) + m_{факт}^p(t)))} > 1. \quad (16)$$

2) Условие инерционности темпов роста физического и человеческого капиталов.

Допустимыми являются прогнозируемые нормы инвестиций, которые отличаются от фактических не больше чем на два годовых стандартных отклонений этих норм:

$$(f_{np}^p(t+1) - f_{факт}^p(t))^2 < (2std(f_{факт}^p(t)))^2; \quad (17)$$

$$(m_{np}^p(t+1) - m_{факт}^p(t))^2 < (2std(m_{факт}^p(t)))^2. \quad (18)$$

3) Условие не отрицательности инвестиций:

$$f_{np}^p(t+1) > 0, m_{np}^p(t+1) > 0. \quad (19)$$

4) Условие пропорциональности объема инвестиций величине совокупного выпуска:

$$f_{np}^p(t+1) + m_{np}^p(t+1) < 1. \quad (20)$$

Таким образом, в результате экономико-математическая модель оптимизации вычисления «нормативных» параметров имеет вид

$$(f_{норм}^p(t) - f_{np}^p(t+1))^2 + (m_{норм}^p(t) - m_{np}^p(t+1))^2 \rightarrow \min; \quad (21)$$

$$\left\{ \begin{aligned} & e^g \left(\frac{f_{np}^p(t+1)}{f_{факт}^p(t)} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha-\beta}} \left(\frac{m_{np}^p(t+1)}{m_{факт}^p(t)} \right)^{\frac{\beta}{1-\alpha-\beta}} \times \\ & \times \frac{(1 - (f_{np}^p(t+1) + m_{np}^p(t+1)))}{(1 - (f_{факт}^p(t) + m_{факт}^p(t)))} > 1, \end{aligned} \right. \quad (22)$$

$$\left\{ \begin{aligned} & (f_{np}^p(t+1) - f_{факт}^p(t))^2 < (2std(f_{факт}^p(t)))^2, \end{aligned} \right. \quad (23)$$

$$\left\{ \begin{aligned} & (m_{np}^p(t+1) - m_{факт}^p(t))^2 < (2std(m_{факт}^p(t)))^2, \end{aligned} \right. \quad (24)$$

$$\left\{ \begin{aligned} & f_{np}^p(t+1) > 0, m_{np}^p(t+1) > 0, \end{aligned} \right. \quad (25)$$

$$\left\{ \begin{aligned} & f_{np}^p(t+1) + m_{np}^p(t+1) < 1. \end{aligned} \right. \quad (26)$$

Задача (21)-(26) позволяет по известным $f_{норм}^p(t)$, $m_{норм}^p(t)$, $f_{факт}^p(t)$, $m_{факт}^p(t)$ определять $f_{np}^p(t+1)$, $m_{np}^p(t+1)$.

Обозначим общее решение этой задачи:

$$m_{np}^p(t+1) = M[f_{норм}^p(t), m_{норм}^p(t), f_{факт}^p(t), m_{факт}^p(t)]; \quad (27)$$

$$f_{np}^p(t+1) = N[f_{норм}^p(t), m_{норм}^p(t), f_{факт}^p(t), m_{факт}^p(t)]. \quad (28)$$

Подставим (27)-(28) в (1)-(2)

$$\begin{aligned} f_{факт}^p(t+1) &= \\ &= N[f_{норм}^p(t), m_{норм}^p(t), f_{факт}^p(t), m_{факт}^p(t)] + \varepsilon^f(t+1); \end{aligned} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} m_{факт}^p(t+1) &= \\ &= M[f_{норм}^p(t), m_{норм}^p(t), f_{факт}^p(t), m_{факт}^p(t)] + \varepsilon^m(t+1). \end{aligned} \quad (30)$$

Или

$$\begin{aligned} \varepsilon^f(t+1) &= f_{факт}^p(t+1) - \\ &- N[f_{норм}^p(t), m_{норм}^p(t), f_{факт}^p(t), m_{факт}^p(t)]; \end{aligned} \quad (31)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon^m(t+1) &= m_{факт}^p(t+1) - \\ &- M[f_{норм}^p(t), m_{норм}^p(t), f_{факт}^p(t), m_{факт}^p(t)]. \end{aligned} \quad (32)$$

Случайные величины $\varepsilon^f(t+1)$, $\varepsilon^m(t+1)$ распределены по нормальному закону. Поскольку стандартные отклонения $f_{факт}^p(t)$, $m_{факт}^p(t)$ не сильно отличаются (2.4 и 1.5% соответственно), то можно считать, что стандартные отклонения $\varepsilon^f(t+1)$ и $\varepsilon^m(t+1)$ одинаковы.

Тогда плотность вероятности случайной величины $\varepsilon^f(t+1)$ выражается формулой

$$Pr ob(\varepsilon^f(t+1)) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{\varepsilon^f(t+1)^2}{2\sigma^2}\right). \quad (33)$$

Аналогично

$$Pr ob(\varepsilon^m(t+1)) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{\varepsilon^m(t+1)^2}{2\sigma^2}\right). \quad (34)$$

Совместная плотность вероятности

$$\begin{aligned} Pr ob(\varepsilon^f(t+1), \varepsilon^m(t+1)) &= \\ &= Pr ob(\varepsilon^f(t+1)) \cdot Pr ob(\varepsilon^m(t+1)) = \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{\varepsilon^f(t+1)^2 + \varepsilon^m(t+1)^2}{2\sigma^2}\right). \end{aligned} \quad (35)$$

Из формул (31)-(32) нужно вычислить $f_{норм}^p(t)$, $m_{норм}^p(t)$ так, чтобы плотность вероятности $Pr ob(\varepsilon^f(t+1), \varepsilon^m(t+1))$ была максимальной. Другими словами, так, чтобы величина $\varepsilon^f(t+1)^2 + \varepsilon^m(t+1)^2$ было минимальна. То есть $f_{норм}^p(t)$, $m_{норм}^p(t)$ находятся из задачи минимизации:

$$\begin{aligned} & \left[f_{\text{факт}}^p(t+1) - N \left[f_{\text{норм}}^p(t), m_{\text{норм}}^p(t), f_{\text{факт}}^p(t), m_{\text{факт}}^p(t) \right] \right]^2 + \\ & + \left[m_{\text{факт}}^p(t+1) - M \left[f_{\text{норм}}^p(t), m_{\text{норм}}^p(t), f_{\text{факт}}^p(t), m_{\text{факт}}^p(t) \right] \right]^2 \rightarrow \min. \end{aligned} \quad (36)$$

В алгоритме вычисления параметров $f_{\text{норм}}^p(t), m_{\text{норм}}^p(t)$ по известным $f_{\text{факт}}^p(t), m_{\text{факт}}^p(t), f_{\text{факт}}^p(t+1), m_{\text{факт}}^p(t+1)$ используется метод перебора, и он может быть представлен следующим образом:

1. Пусть $f_{\text{норм}}^p(t) \in [0; 0,4]$, (а)

$m_{\text{норм}}^p(t) \in [0; 0,1]$. (б)

2. Зададим шаг внутри интервалов значений. Пусть $\Delta f_{\text{норм}}^p = 0.001$, $\Delta m_{\text{норм}}^p = 0.001$.

3. Для $f_{\text{норм}}^p(t), m_{\text{норм}}^p(t)$ из интервалов (а) и (б) решаем оптимизационную задачу (21)-(26) и находим прогнозные значения $f_{\text{нр}}^p(t+1), m_{\text{нр}}^p(t+1)$.

4. Вычисляем левую часть (36).

5. Повтор пунктов (3) и (4) для всех $f_{\text{норм}}^p(t), m_{\text{норм}}^p(t)$ из интервалов (а) и (б).

6. Решением задачи (36) будут являться искомые «нормативные» параметры $f_{\text{норм}}^p(t), m_{\text{норм}}^p(t)$, при которых левая часть (36) минимальна.

Апробация модельной конструкции и верификация результатов расчетов была произведена основе данных Республики Башкортостан по объему ВРП, инвестиций в основной капитал, среднегодовой стоимости обучения одного студента, численности студентов, общей численности населения и ее экономически активной части за 2000-2010 гг. Значения $\alpha = 0,13$ и $\beta = 0,16$ были взяты из работы А.В. Комаровой, О.В. Павшока [6], эмпирически определивших на основе модели Мэнкью–Ромера–Уэйла вклад человеческого капитала в экономический рост регионов России.

Результаты расчетов представлены в таблице.

Как следует из приведенных результатов (см. таблицу), «нормативные» параметры накопления физиче-

ского и человеческого капиталов не претерпели существенных корректировок, поскольку определенную роль в «корректировке» их колебаний имеет введенное ограничение по капитал и образование.

Результаты расчетов «нормативных» параметров норм накопления физического и человеческого капитала Республики Башкортостан

Год	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
$f_{\text{норм}}^p(t)$	0,246	0,251	0,226	0,211	0,216	0,206	0,25	0,26	0,11	0,201	0,186
$f_{\text{факт}}^p(t)$	0,245	0,252	0,250	0,225	0,217	0,221	0,213	0,272	0,274	0,229	0,202
$m_{\text{норм}}^p(t)$	0,046	0,057	0,044	<0,038	0,015	0,027	0,02	<0,019	0,02	<0,018	<0,016
$m_{\text{факт}}^p(t)$	0,055	0,047	0,057	0,045	0,036	0,031	0,024	0,021	0,018	0,020	0,017

Последующая корректировка условий и ограничений предложенной модели, основанная на учете изменяющихся факторов внешней и внутренней среды, будет способствовать ее совершенствованию в части повышения степени адекватности и обоснованности результатов модельных расчетов. При этом на данном этапе разработки операционные свойства модели ограничены нормами накопления физического и человеческого капитала, составляющих индикативную зону процедуры ПБМ. Однако очевидно, что значительные аналитические возможности исследования заключены в последующей детализации его ключевых параметров проблемной области.

Список литературы

- Bolli A., Emtairah T. Environmental benchmarking for local authorities: from concept to practice. Environmental issues report. January 2001. P. 64.
- Guidelines on Progress Monitoring and Benchmarking. The Regional Environmental Center for Central and Eastern Europe. March 2007. P. 105.
- Reilly R., Jencks C., Hedges C. NCHRP. Report 511. Guide for customer-driven benchmarking of maintenance activities. National cooperative highway research programme. Transportation research board of the national academies. P. 276. URL: http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_511.pdf (дата обращения: 05.09.13).
- Экономическое пространство: теория и реалии / ред. кол.: А.И. Татаркин (рук.) и др.; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. Москва: Экономика, 2011. 374 с.
- Mankiw G. W., Romer D., Weil D. N. A contribution to empirics of economic growth // The Quarterly Journal of Economics. 1999. Vol. 107. № 2. P. 407-437.
- Комарова А.В., Павшок О.В. Оценка вклада человеческого капитала в экономический рост регионов России (на основе модели Мэнкью–Ромера–Уэйла) // Вестник ИГУ. Сер. Социально-экономические науки. 2007. Т. 7, вып. 3. С. 191-201.

Сведения об авторах

Красносельская Дина Хадимовна – аспирант Института социально-экономических исследований УНЦ РАН, г. Уфа, Башкортостан. E-mail: dina-hamzina@mail.ru.

Кочетков Сергей Михайлович – канд. физ.-мат. наук, Белорусский государственный университет, г. Минск, Белоруссия. E-mail: sergeykochetkov@yandex.ru.

THE CALCULATION OF OPTIMAL RATIO OF PHYSICAL AND HUMAN CAPITAL ACCUMULATION RATES: THEORETICAL AND PRACTICAL ASPECTS OF «NORMATIVE» PARAMETERS MODELING

Krasnoselskaya Dina Khadimovna – Postgraduate Student, Institute of Social-Economic Investigations USC RAS, Ufa, Bashkortostan. E-mail: dina-hamzina@mail.ru.

Kochetkov Sergey Mikhaylovich – Ph.D. (Phys.-Math.), Associate Professor, Belarusian State University, Minsk, Belarus. E-mail: sergeykochetkov@yandex.ru.

Abstract. A model to choose the optimal ratio of physical and human capital accumulation rates for the Republic of Bashkortostan on the basis of the benchmarking process is suggested in the article. The image of the region-analogue is represented by «normative» parameters of the region under consideration resulting from the internal benchmarking (self-diagnosis).

Keywords: benchmarking, region analogue, human capital, physical capital.

References

1. Bolli A., Emtairah T. Environmental benchmarking for local authorities: from concept to practice. Environmental issues report. January 2001. P. 64.
2. Guidelines on Progress Monitoring and Benchmarking. The Regional Environmental Center for Central and Eastern Europe. March 2007. P. 105.
3. Reilly R., Jencks C., Hedges C. NCHRP. Report 511. Guide for customer-driven benchmarking of maintenance activities. National cooperative highway research programme. Transportation research board of the national academies. P. 276. URL: http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_511.pdf.
4. *Ekonomicheskoe prostranstvo: teorii i realii*. [Economic space: theory and reality]. Ed. A.I. Tatarkin. Ufa state aviation technical university. Moscow: Economy, 2011, 374 p.
5. Mankiw G. W., Romer D., Weil D. N. A contribution to empirics of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*. 1999, vol. 107, no. 2, pp. 407-437.
6. Komarova A. V., Pavshok O. V. The Estimation of the Human Capital's Impact into the Economic Growth of the Regions of Russian Federation (Using Mankiw – Romer – Wail's Model). *Bulletin of NSU. Series. Social-economic sciences*. 2007, vol. 7, iss. 3, pp. 191-201.

УДК 331.4:622.2

Белоногов О.В., Трильев А.Е.

ОРГАНИЗАЦИЯ СЛУЖБЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ НА СИБАЙСКОМ ПОДЗЕМНОМ РУДНИКЕ

Аннотация. В статье отражен анализ обстоятельств и причин снижения уровня безопасности на Сибайском подземном руднике. Представлены организационная структура существовавшей системы управления охраной труда, и промышленной безопасности, результаты оперативных, целевых и комплексных проверок, результаты проведенного на предприятии анкетирования. Также приведена структура организованной службы производственного контроля и закрепленные за специалистами службы объекты контроля, статистика производственного травматизма и выявленных нарушений на предприятии.

Ключевые слова: промышленная безопасность, производственный контроль, анкетирование, травматизм, функция контроля.

В период с июня 2009 г. по декабрь 2010 г. Сибайский филиал ОАО «Учалинский ГОК» (СФ ОАО «УГОК») по состоянию промышленной безопасности находился на особом режиме. Анализ обстоятельств и причин снижения уровня безопасности на производстве позволил установить следующее:

1. В СФ ОАО «УГОК» организационной структурой предусмотрен отдел охраны труда и промышленной безопасности во главе с заместителем главного инженера по охране труда и промышленной безопасности (ОТ и ПБ) (начальник отдела) (рис. 1).

Однако отдел охраны труда и промышленной безопасности, который должен выполнять функцию контроля, фактически является службой производственного надзора и не имеет необходимых распорядительных полномочий, позволяющих ему корректировать производственные процессы в случае отклонений от требований промышленной безопасности (рис. 2).

2. По результатам оперативных, целевых и комплексных проверок на Сибайском подземном руднике (СПР) в период с января 2007 г. по ноябрь 2010 г. (про-

ведено 2919 проверок) выявлено 14173 нарушения требований промышленной безопасности, произведена 131 приостановка горных работ, к административной ответственности привлечены 846 работников. Вероятно, объем и качество выполненных работ недостаточны, поскольку уровень травматизма и количество случаев травмирования со смертельным исходом сохранялись.

3. Для выявления факторов, обуславливающих низкий уровень безопасности производства, было проведено анкетирование работников предприятия в количестве 21 человека: ключевые руководители и специалисты производственных участков (14 чел.), управление рудника (4 чел.) и управление филиала (3 чел.) (рис. 3).

Анкетирование показало, что среди 7 приоритетных факторов снижения безопасности участники отметили следующие: «недостаточное соблюдение должностных инструкций, ТБ», «нарушение технологии и организации работ», «сбои в системе управления», «личная неосторожность», «несогласованность действий», «низкая квалификация исполнителей», «низкая организация труда на рабочем месте».

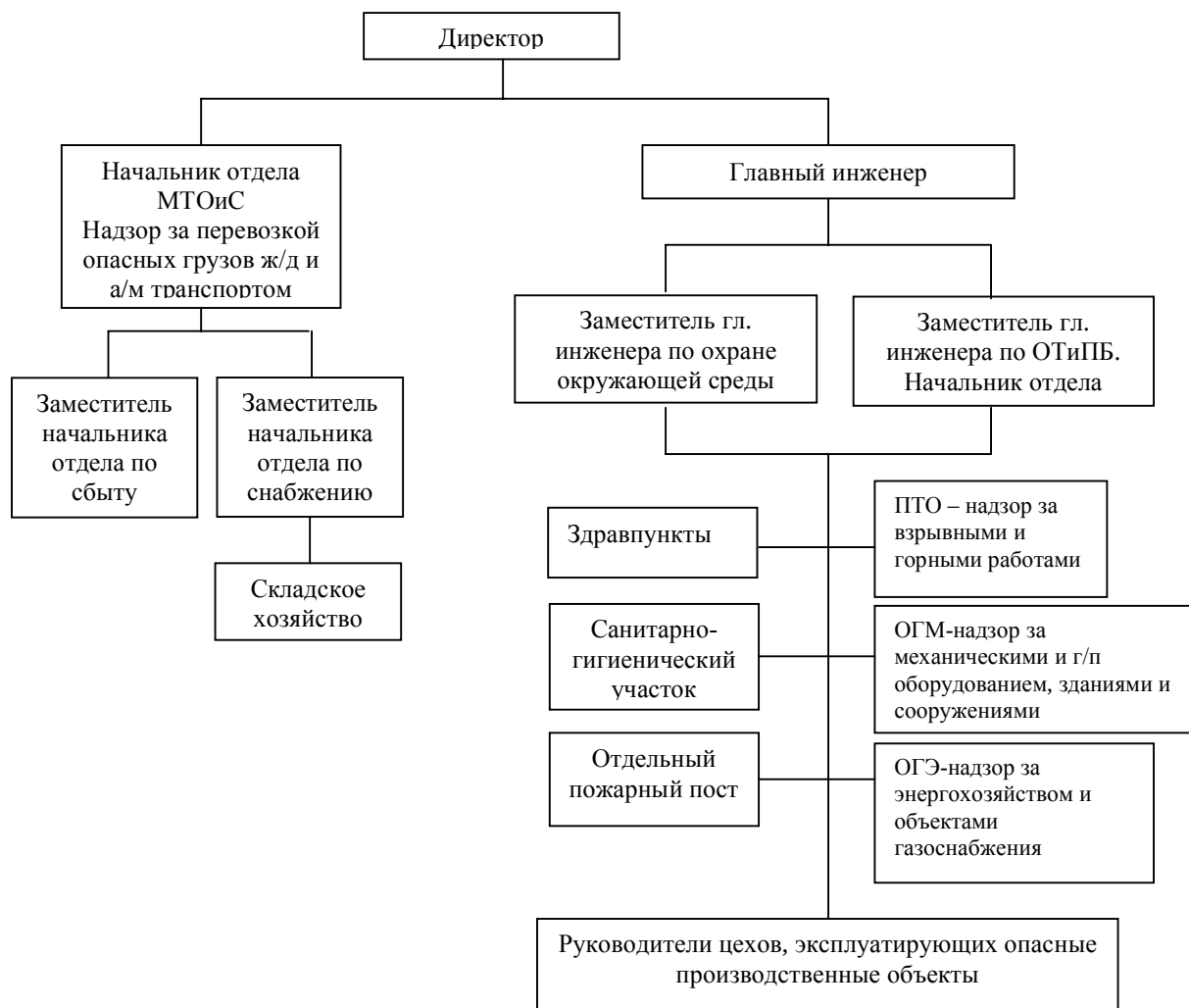


Рис. 1. Организационная структура системы управления охраной труда, организации и осуществления производственного контроля за соблюдением требований промышленной безопасности СФ ОАО «УГОК»

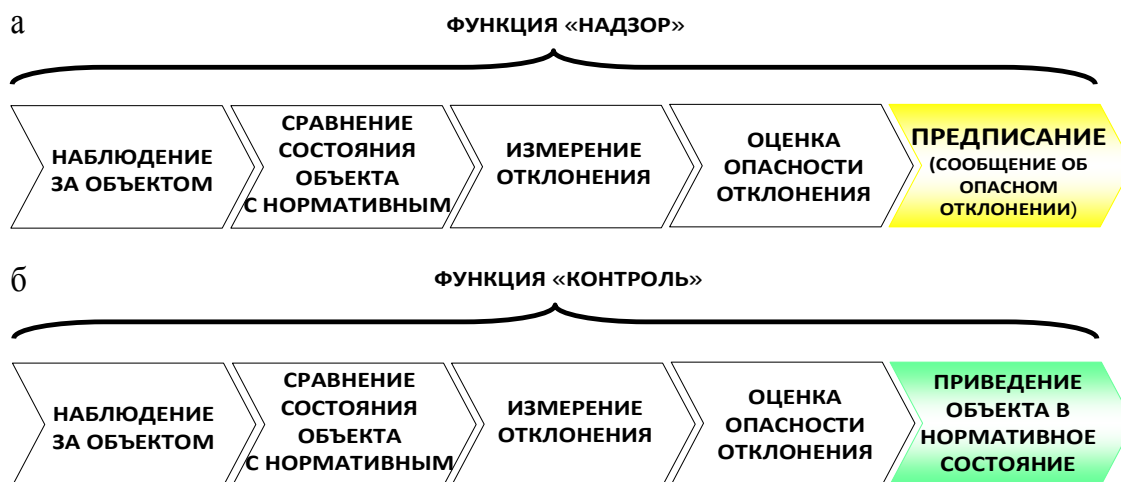


Рис. 2. Структура функций «надзор» (а) и «контроль» (б)

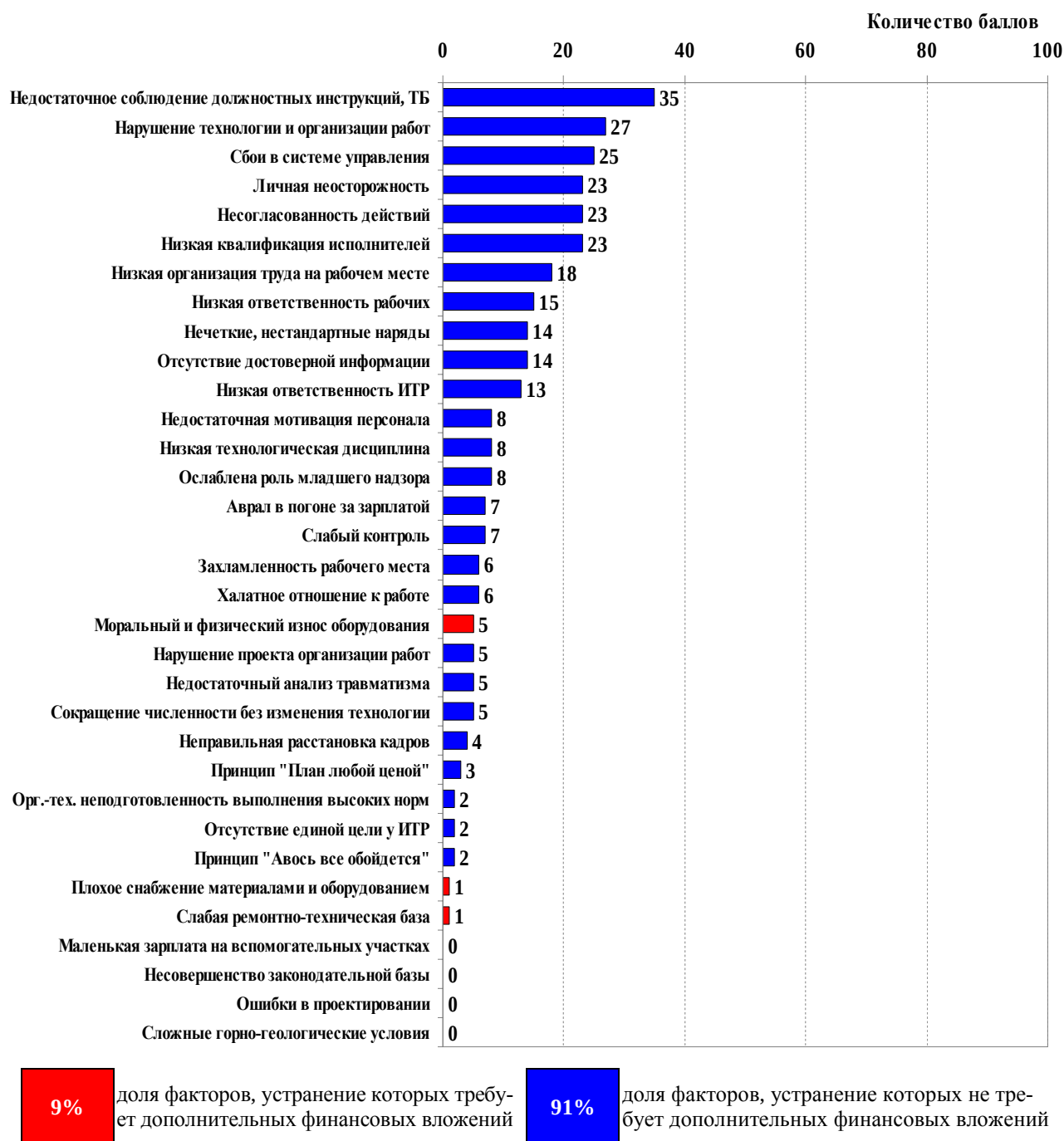


Рис. 3. Факторы, обуславливающие снижение БЕЗОПАСНОСТИ производства
(21 чел., 16.02.12 г., СФ ОАО «УГОК»)

Согласованность мнений большинства участников семинара относительно факторов, обуславливающих снижение безопасности производства, представлена в табл. 1.

Такая согласованность позиций участников в отношении факторов небезопасности производства требует избыточных усилий от руководства комбината и его подразделений для организации системной работы по снижению негативного влияния этих факторов.

Для упорядочения деятельности в отношении

снижения негативного влияния выявленных факторов службой ОТ и ПБ для руководителей и специалистов (РСиС) предприятия была разработана памятка, содержащая в себе пошаговый алгоритм выполнения мероприятий, направленных на предупреждение и снижение количества нарушений. Однако, несмотря на предпринимаемые меры по улучшению работы механизма осуществления производственного контроля в период с 2007 по 2010 гг. коэффициент тяжести травмирования увеличился в 2,8 раза.

Таблица 1

Согласованность мнений (позиций) по факторам, обуславливающим снижение безопасности производства (15-16.02.12 г.)

Категория	СПР				Управление филиала (4 чел.)
	Специалисты (7 чел.)	Руководители участка (7чел.)	Специалисты по организации труда (4 чел.)	Руководители рудника (4 чел.)	
Специалисты (7 чел.)	$\frac{0,22}{0,32}$	$\frac{0,21}{0,44}$	$\frac{0,10}{0,24}$	$\frac{0,40}{0,30}$	
Руководители участка (7чел.)		$\frac{0,22}{0,32}$	$\frac{0,37}{0,23}$	$\frac{0,30}{0,35}$	
Специалисты по организации труда (4 чел.)			$\frac{0,20}{0,38}$	$\frac{0,28}{0,58}$	
Руководители рудника (4 чел.)				$\frac{0,29}{0,39}$	

Взаимоотношения:

органичные $K_{\text{конк}} > 0,7$
 компромиссные $0,5 < K_{\text{конк}} < 0,7$
 конфликтные $K_{\text{конк}} < 0,5$

Примечание. В числителе значение коэффициента конкордации (согласованности) от 15.12.11 г., в знаменателе – от 16.02.12 г.; $K_{\text{конк}}$ – коэффициент конкордации.

Для кардинального изменения сложившейся ситуации в ноябре 2010 г. было принято решение о создании новой структуры – Управления производственного контроля, охраны труда и промышленной безопасности (УПК ОТ и ПБ), выведенной в отдельное подразделение, независимое от технического руководства филиала, руководителей цехов и переходящей в прямое подчинение директора СФ ОАО «УГОК». Организационная структура УПК ОТиПБ и объекты контроля, закрепленные за руководителями и специалистами службы, представлены на рис. 4.



Рис. 4. Организационная структура УПК ОТ и ПБ СФ ОАО «УГОК»

На момент организации списочная численность УПК ОТ и ПБ составила 11 человек и не превышала допустимой численности штата сотрудников службы. Для обеспечения эффективного производственного контроля подбор персонала осуществлялся в соответствии с требуемым (необходимым) уровнем квалификации, ответственности и мотивации. Для сотрудников организованной службы разработаны должностные инструкции, в полной мере отражающие полномочия и порядок действий на закрепленных за специалистами объектах контроля. Горнотехнические инспекторы (5 чел.) службы осуществляют ежесменный контроль за соблюдением требований безопасности на производственных участках СПР; ведущий инженер ОТ, ПБ и безопасности движения, ведущий инженер ОТ и ПБ на открытых горных работах и начальник службы производственного контроля ОТ и ПБ горного производства осуществляют контроль за закрепленными объектами согласно графикам проверок и планов работ.

Согласно должностной инструкции СФ УГОК при выявлении нарушений законодательных, нормативных правовых актов и нормативно-технических документов по ПБ и ОТ, которые создают угрозу жизни и здоровью работников или могут привести к аварии, РСЧС службы вправе:

- приостанавливать производство работ, запрещать эксплуатацию машин, оборудования в цехах, на участках;
- предъявлять должностным лицам и другим ответственным работникам обязательные для исполнения предписания об устранении выявленных нарушений;
- требовать от руководителей подразделения рудника отстранения от работы лиц, не прошедших в установленном порядке инструктаж по безопасности и охране труда, обучение и проверку знаний по ОТ и ПБ или грубо нарушивших правила, нормы и инструкции, а также лиц, показавших неудовлетворительные знания при проведении аттестации;
- требовать от руководителей рудника выполнения корректирующих действий (разработка и реализация мероприятий) для устранения несоответствий, выявленных в результате внутреннего аудита с целью возобновления приостановленных работ.

Функционирование сформированной службы позволило в 3,25 раза снизить количество случаев травмирования и предотвратить случаи с тяжелым и смертельным исходом. Статистика производственного

травматизма в период с 2007 по 2012 гг. представлена в табл. 2.

Таблица 2

Производственный травматизм на СПР в период с 2007 по 2012 гг.

№ п/п	Показатели	2007	2008	2009	2010	2011	2012
1	Среднесписочная численность	680	732	906	920	950	961
2	Количество случаев травмирования	4	1	4	3	1	1
3	Количество случаев травмирования со смертельным исходом	1	-	1	1	-	-
4	Дней нетрудоспособности	392	32	555	210	108	68
5	Коэффициент частоты	7,3	1,4	5,5	3,3	1,05	1,1
6	Коэффициент тяжести	49,0	32,0	138,8	105,0	108,0	68,0

■ — период функционирования службы УПК ОТ и ПБ

После создания УПК ОТ и ПБ и введения в штат горнотехнических инспекторов количество выявленных нарушений и приостановок горных работ, угрожающих жизни и здоровью людей или способных привести к возникновению аварии с последующим травмированием рабочих, увеличилось в 2,3 и 7,4 раза соответственно (табл. 3).

Таблица 3

Таблица выявленных нарушений в период с 2007 по 2012 гг.

Отчетный год	Кол-во проведенных проверок		Кол-во выявленных нарушений		Кол-во приостановок		Количество РС и С СПР, привлеченных к дисциплинарной ответственности
	РСи С СПР	УПК, ОТ и ПБ	РСи С СПР	УПК, ОТ и ПБ	РСи С СПР	УПК, ОТ и ПБ	
2007	698	-	3178	-	-	-	143
2008	703	-	3272	-	-	-	151
2009	844	-	3203	-	30	-	296
2010	883	674	5962	4520	101	77	399
2011	7418	1319	8038	9133	56	842	211
2012	5063	1406	9493	9495	586	557	218

■ — период функционирования службы УПК ОТ и ПБ.

Таким образом, созданная служба УПК ОТ и ПБ обеспечила переход от выполнения функции надзора к выполнению функции постоянного контроля соблюдения требований промышленной безопасности, тем самым улучшила механизм по выявлению нарушений и разработке мероприятий, направленных на устранение несоответствий, выявленных в результате внутреннего аудита. Это позволило увеличить качество комплексных и целевых проверок и тем самым в

среднем за год в 3 раза снизить количество случаев травмирования и исключить случаи травмирования со смертельным исходом.

Список литературы

1. Разработка и реализация первоочередных мер по снижению критиче

Сведения об авторах

Белоногов Олег Витальевич – начальник службы управления ПК ОТ и ПБ горного производства СФ ОАО «Учалинский ГОК», г. Сибай, Башкортостан. Тел.: (34775) 4-20-13. E-mail: belo69ov@mail.ru.

Трильев Антон Евгеньевич – инженер ОАО «ИнЭКО», г. Челябинск, Россия. Тел.: (351) 265-55-04. E-mail: ineco@bk.ru.

ских рисков травмирования в основных подразделениях ОАО «Высокогорский ГОК» / Лагутин К.И., Кузнецов А.В. и др. // Горный информ.-аналит. бюл. 2011. №1.

2. Вовлечение персонала в совершенствование организации труда на Сибайском подземном руднике / Гибадуллин З.Р., Макшук Ф.Х., Акшенцев Ф.И., Трильев А.Е. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. №3(39). С. 70-72.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE ORGANISATION OF THE MANUFACTURING INSPECTION DEPARTMENT AT THE SITE OF SIBAY UNDERGROUND MINE

Belonogov Oleg Vitalyevich – Head of management of production control occupational health and safety of the mining industry SF «Uchalinsky GOK», Sibay, Bashkortostan. Phone: (34775) 4-20-13. E-mail: belo69ov@mail.ru.

Trilyev Anton Evgenievich – Engineer PLC «InEco», Chelyabinsk, Russia. Phone: (351) 265-55-04. E-mail: ineco@bk.ru.

Abstract. The paper contains the analysis of the circumstances and reasons for the safety decline at Sibai underground mine. The organization chart of the pre-existing labour protection and industrial safety control system, the results of operational, objective and multipurpose inspections, as well as the results of the questionnaire survey are presented. The structure of organized manufacturing inspection department and the bodies for inspection assigned to the department experts, as well as the statistics on occupational injuries and identified violations at the plant are also presented

Keywords: industrial safety, production control, questionnaire survey, injuries monitoring function.

References

1. Lagutin K.I. Kuznetsov A.V. etc. Development and implementation of priority measures to reduce the risk of injury in the critical core divisions JSC «Vysokogorsky GOK». *Mining Information and Analysis newsletter*. 2011, no. 1.
2. Gibadullin Z.R., Makshukov F.H., Akshentsev F.I., Trilyev A.E. Involving staff in improving the organization of labor in the Sibai underground mine. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2012, no. 3, pp. 70-72.

УДК 65.01

Пимонова Т.К.

ПРИМЕНЕНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ В СИСТЕМЕ МЕНЕДЖМЕНТА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Аннотация. В статье рассмотрено создание автоматизированной системы управления запасами запасных частей, предназначенных для ремонта и технического обслуживания основного технологического оборудования. С помощью данной автоматизированной системы рассчитываются текущий и аварийный (страховой) запасы запасных частей на основе логистических методов анализа, таких как ABC-анализ и XYZ-анализ. При определении целесообразности создания аварийного запаса проводится сравнение возможного ущерба от отсутствия запаса запасных частей с затратами на его создание.

Исследования выполнены при поддержке Министерства образования и науки РФ, соглашение 14.B.37.21.0499.

Ключевые слова: запасы запасных частей, система менеджмента, автоматизированная система управления, текущий запас, аварийный запас.

Использование на промышленных предприятиях при управлении запасами такого инструмента, как норматив оборотных средств, необходимых для формирования экономически обоснованного запаса, а также обширная номенклатура материалов, составляющих запасы, приводит к необходимости внедрения логистических методов управления запасами запасных частей в существующую на предприятиях систему менеджмента, которая в настоящее время тесно взаимосвязана с корпоративной информационной системой.

Это вызвано тем, что определение оптимальной величины запаса запасных частей, нужных для ремонта и технического обслуживания оборудования, неотделимо от процесса планирования потребности в за-

пасных частях и опирается на данные, сформированные в информационной среде предприятия.

Автоматизированная система управления запасами запасных частей представляет собой базу данных, которая является составной частью корпоративной информационной системы.

Целью создания данной автоматизированной системы является оперативный расчет норматива запасных частей как в целом по предприятию, так и в разрезе отдельных групп оборудования и основных технологических агрегатов.

Система позволяет рассчитывать норму и норматив на любой временной отрезок краткосрочного периода планирования, а также определить на средне-

срочную перспективу минимальную величину запасов по наиболее ответственным видам запасных частей, несвоевременная замена которых приведет к тяжелым финансовым последствиям для предприятия.

Норматив запаса запасных частей, необходимых для обеспечения ремонтов и межремонтного обслуживания оборудования, состоит из двух частей:

- норматив текущего запаса, создаваемого для обеспечения плановой потребности в запасных частях на период между поставками;
- норматив аварийного запаса, создаваемого на случай внезапных выходов оборудования из строя в период эксплуатации.

Такой подход к определению норматива запасных частей обуславливает порядок расчета и структуру базы данных (рис. 1).



Рис. 1. Логическая структура автоматизированной системы управления запасами запасных частей

Основой расчета норматива текущего запаса запасных частей является справочно-нормативная информация о запасных частях и потребность в них, определяемая на основе планируемого графика текущего и капитального ремонтов оборудования.

При расчете нормы текущего запаса запасных частей и норматива оборотных средств, вложенных в данную часть запаса, на основе исходной информации первоначально производится группировка запчастей в соответствии с номенклатурным справочником, а затем выполняется ABC-анализ данных укрупненных групп и XYZ-анализ для запасных частей группы А и группы В (рис. 2).

Для целей управления запасами запасные части делятся на следующие группы:

- запасные части класса А – перечень немногочисленных важнейших запасных частей, на которые приходится большая часть денежных средств (75-80%), израсходованных на запасные ча-

сти, уровень запаса которых должен постоянно контролироваться, а также постоянно должны определяться размер и момент заказа;

- запасные части класса В – менее важные запасные части, имеющие долю в общем расходе от 15 до 20%, запасы которых требуют к себе меньше внимания по сравнению с группой А. Для них используются обычные методы контроля: размер заказа и момент выдачи заказа пересматриваются раз в полгода или год;

- запасные части класса С – остальные (второстепенные) запасные части, составляющие, как правило, большую часть номенклатуры, на долю которых приходится наименьшая часть финансовых ресурсов (от 0 до 5%). Для этой группы не выполняются точные расчеты оптимального размера заказа и периода заказа.

С позиции частоты потребления (XYZ-классификация) запасные части делятся на следующие группы:

- группа Х – запасные части, потребляемые равномерно в течение анализируемого периода, либо подверженные незначительным колебаниям спроса;
- группа Y – запасные части, которые потребляются в колеблющихся количествах;
- в группу Z включаются запасные части, спрос на которые возникает эпизодически.

Назначением базы данных аварийного запаса является определение минимального уровня производственных запасов запасных частей на предприятии в виде норматива оборотных средств для целей оперативного управления запасами запчастей.

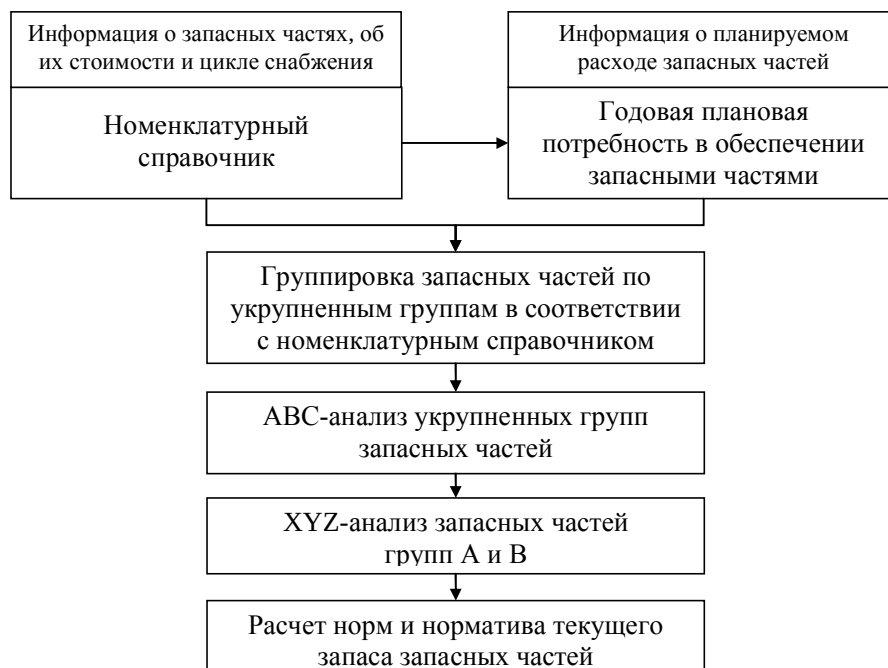


Рис. 2. Алгоритм расчета норм и норматива текущего запаса запасных частей

База данных аварийного запаса представляет собой справочно-нормативную, статистическую информацию о запасных частях технологического оборудования, на основании которой рассчитываются норма и норматив аварийного запаса запчастей в разрезе отдельной номенклатурной позиции, а также общий норматив по аварийному запасу запасных частей (рис. 3).



Рис.3. Алгоритм автоматизированного расчета норм и норматива аварийного запаса запасных частей

После формирования перечня узлов и запасных частей основного технологического оборудования необходимо произвести их деление на группы по степени важности:

- 1 группа – запасные части, отсутствие которых приводит к остановке оборудования;
- 2 группа – запасные части, отсутствие которых приводит к снижению производительности;
- 3 группа – запасные части, отсутствие которых не приводит к экономическим убыткам.

Исходя из данной классификации необходимо создавать аварийные запасы по первой и второй группе, а для третьей группы формирование данного запаса нецелесообразно.

При принятии управленческих решений о необходимости создания аварийного запаса по отдельным

номенклатурным позициям необходимо также исходить из оценки размера возможных убытков, обусловленных отсутствием запаса запасных частей при внезапном отказе оборудования: если величина возможных убытков превышает затраты, связанные с созданием и хранением аварийного запаса, то формирование аварийного запаса является необходимым; если затраты, связанные с запасами, превышают величину возможных убытков, то создание аварийного запаса является нецелесообразным.

Выводы

Таким образом, применение автоматизированной системы управления запасами на металлургическом предприятии позволит рассчитывать и текущий, и аварийный запас запасных частей, оперативно корректировать их величину в соответствии с изменением графиков ремонтов оборудования.

Помимо этого автоматизированная система позволит принимать оптимальные управленческие решения в области управления запасами при наступлении неблагоприятных внешних факторов и дефиците денежных средств на предприятии, поскольку норматив аварийного запаса запасных частей представляет собой не что иное, как минимум оборотных средств, вложенных в запасы данного вида.

В случае острого недостатка денежных средств на предприятии предлагается планировать запасы запасных частей, начиная с позиций, включенных в аварийный запас и в порядке убывания экономического эффекта от создания аварийного запаса.

Список литературы

1. Арапова Т.К., Васильева Н.Ф., Чуманова Н.В. Совершенствование управления производственными запасами запасных частей на металлургическом предприятии // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2005. №2 (10). С. 8-10.
2. Арапова Т.К., Васильева Н.Ф. Проблемы управления запасами запасных частей и сменного оборудования на металлургическом предприятии // Вестник ИЖЭКОНА. 2003. Вып. 2(21). С. 372-375.
3. Формирование запасов запасных частей в логистических системах металлургических предприятий / Арапова Т.К., Васильева Н.Ф., Баскакова Н.Т., Шмелев В.А. // Реконструкция промышленных предприятий – прорывные технологии в металлургии и машиностроении: сб. докл. конф. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. С. 193-203.
4. Материальное обеспечение воспроизводства основных фондов как фактор повышения качества металлопродукции / Арапова Т.К., Шмелев В.А., Васильева Н.Ф., Баскакова Н.Т. // Сталь. 2010. №9. С. 84-87.

Сведения об авторе

Пимонова Татьяна Константиновна – доц. кафедры менеджмента ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8(3519) 23-04-28. E-mail: arapovat@bk.ru.

THE APPLICATION OF LOGISTIC MANAGEMENT METHODS OF STOCKS SPARE PARTS IN THE MANAGEMENT SYSTEM OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISE

Pimonova Tatiana Konstantinovna – Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: 8(3519) 23-04-28. E-mail: arapovat@bk.ru.

Abstract. The article considers the creation of automated control system for spare parts stock intended to repair and maintain the main processing equipment. Using this automated system it is possible to calculate current and emergency (insurance) stock of spare parts on the basis of logistic method of analysis such as ABC-analysis and XYZ-analysis. The relationship between the possible damage and the lack of spare parts stock with the cost for its creation is compared in determining the practicability for emergency reserve formation.

The research is carried out with the support of the Ministry of education and science of the Russian Federation, the agreement 14.B.37.21.0499.

Keywords: the inventory of spare parts management system, automated control system, current stock, emergency stock

References

1. Arapova T.K., Vasilyeva N.Ph., Chymanova N.V. Improvement of production reserves management of spare parts for metallurgical company Vest-

nik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2005, no. 2 (10), pp. 8-10.

2. Arapova T.K., Vasilyeva N.Ph. Inventory issues of spare parts and replacement of equipment at metallurgical plant. *Bulletin of ENGECON*. 2008, iss. 2(21), pp. 372-375.
3. Arapova T.K., Vasilyeva N.Ph., Baskakova N.T., Shmelev V.A. The formation of the spare parts logistics systems of the metallurgical enterprises. *Rekonstruktsiya promyshlennykh predpriyatij – proryvnye tekhnologii v metallurgii i mashinostroenii: sb. dokl. konf* [Reconstruction of industrial enterprises – breakthrough technologies in metallurgy and mechanical engineering: proceedings]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2010, pp. 193-203.
4. Arapova T.K., Vasilyeva N.Ph., Baskakova N.T., Shmelev V.A. Material support of the reproduction of capital as a factor of improvement of quality of metal and steel. *Stal*. [Steel]. 2010, no. 9, pp. 84-87.

УДК 321.01

Борисов А.Н.

ГОСУДАРСТВО КАК АКТОР ПРАВОТВОРЧЕСКИХ ОТНОШЕНИЙ: ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗВИТИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Аннотация. История развития государства как субъекта правоотношений развивается скачкообразно. Первый скачок был связан с эпохой Возрождения, а затем – Просвещения. Тогда великие географические открытия и развитие книгопечатания существенно расширили познавательные способности человека. Функции по фильтрации нахлынувшего потока информации человечество перепоручило государству. То же самое происходит сегодня, когда мы наблюдаем очередной скачок в развитии науки. Именно за государством закреплена функция правотворчества как внутри государства, так и на международной арене.

Ключевые слова: права человека, государство, правотворчество, субъект правовых отношений.

Современная политическая наука, пытаясь осмыслить специфику управления в сфере политики, определяет, что «фактически управление, представляя собой специфическую функцию организованных систем, в социальной сфере (включающей в себя и политическую) может быть охарактеризовано как сознательное воздействие общественных и государственных институтов на социальные процессы, прежде всего организацию и упорядочение общественных отношений. В отличие от стихийного управления (воздействия на ситуацию со стороны разрозненных неформализованных сил), сознательное управленческое воздействие осуществляется, как правило, институционализированными субъектами, прежде всего государством» [1, с. 79]. Следовательно, один из важнейших институтов, связанных с управлением поведением людей в обществе, а именно институт права, неразрывно связан с государством.

То, что государство, являясь целостным, единым образованием в отношении населения, рассредоточившегося на определенной территории и подверженного влиянию единого властного центра, обуславливало поведение граждан не вызывает сомнения. Это – внутренняя правовая функция государства, присущая

ему со времен формирования. Однако нам важно понять, каким образом само государство стало выступать как актор правоотношений и какие изменения эта функция претерпела в современном мире, когда огромное влияние оказалось сосредоточено в средствах массовой информации (СМИ), по поводу чего исследователи обоснованно бьют тревогу: «Одной из первоочередных задач органов государственной власти в области национальной безопасности России является решение комплекса проблем, связанных с защитой интересов личности, общества и государства в информационной сфере» [2, с. 64].

Осмысление функции государства как актора международных отношений переживало несколько витков развития. Так, в конце XX века, после значительной трансформации системы международных отношений, когда на первый план вышли многочисленные международные организации, складывалось впечатление, что именно последние займут ведущую роль в определении вектора развития международной политики. Однако, как показало время, роль национального государства как ведущего актора политики отнюдь не снизилась. Напротив, на наш взгляд, современные государства вынуждены ориентироваться

в своих политических взглядах, учитывая не только позицию других государств, но и позицию международных организаций. В связи с этим мы можем утверждать, что государство как актор международных отношений вступает в новую стадию своего развития, а это делает заявленную нами тему актуальной. И для ее раскрытия нам необходимо, во-первых, проследить связь между категориями «государство» и «права человека»; во-вторых, осмыслить информационную сущность международных правоотношений на современном этапе.

Существует мнение, что впервые понятие «права человека» встречается во французской «Декларации прав человека и гражданина», принятой в 1789 году, хотя до этого идея прирожденных прав прошла долгий путь развития, и важными вехами были английская Великая хартия вольностей 1215 г., английский Билль о правах 1689 г. и американский Билль о правах 1791 г. В XIX веке в различных государствах поразному складывается первоначальный либеральный набор гражданских и политических прав [3].

Это может натолкнуть на мысль, что государство как актор правоотношений начинает активно функционировать только в период утверждения буржуазных взглядов, в то время, когда начинает проявляться политическая воля разных субъектов и возникает острая необходимость упорядочивания сложных взаимоотношений. Ответом на подобные взаимодействия является формирование государства в приближенном к современному виде: «Со времени средневековых источников права, имевших главным образом форму доктрин, общепринятых норм и охватывающих всю страну частных законодательств, западноевропейские общества претерпели такие значительные политические, экономические, социальные и культурные изменения, что средневековые правовые порядки более не соответствовали их потребностям. Оказались несостоятельными и попытки обновить их путем частичных реформ. Новый взгляд на право проявился в форме националистического естественного права XVII в. (...). Естественное право и его идеологическая основа стали исходным пунктом в радикальном преобразовании западноевропейского общественного и правового порядка при помощи законодательства как основного метода. В рамках Просвещения это приобрело форму идеологического движения. Его инициаторами были сторонники реформ среди дворян и политически активные круги буржуазии. Их взаимодействие привело к общеевропейской демократической революции» [4, с. 216]. Конечно, для подобной точки зрения есть основания. Так, «известный писатель Виттория (1480-1546) впервые уточнил понятие *jus gentium*. Он предложил заменить его *jus inter gentes* (модернизированное затем Жечем в 1651 г. и Бенхамом в 1789 г.), от которого и произошло современное понятие международного права» [5, с. 5].

Однако государства вступали в международные отношения задолго до времен Французской революции. Так, если обратиться к истории русского государства, исследователи отмечают что «по мере усиления

могущества Киевского государства с IX по XI вв. его международные связи становятся весьма оживленными и сложными. С принятием христианства международные отношения Русского государства еще более расширились и углубились. И это понятно уже по одному тому, что христианство, как общепринятая в Европе религия, еще больше сблизило Русь с Европой» [5, с. 20].

Итак, международные отношения были всегда, и государства играли в них определенную роль на каждом историческом отрезке. Более того, существовало не только международное право, но и желание объяснить сложившиеся нормы, потому что «право по своей природе – явление универсальное, и как только правовая материя обретает собственное бытие (в необходимости обособления от религии и государственной власти), возникает острая необходимость понимания права в целом, происходит постижение его общих черт, сути, смысла, назначения в жизни людей. И поэтому национальная ограниченность правовых знаний в пределах данной страны, ее замкнутость на сугубо национальном позитивистском материале, при всей важности для каждого правоведа, являются в конечном счете губительными для правоведа как истинной науки. На опасность такой национальной ограниченности указывали ряд мыслителей, в том числе Монтескье, Бэкон, Фейербах. По словам Рудольфа Иеринга, национальная замкнутость представляет собой «унизительную, недостойную форму существования науки», приводящую к тому же, следует добавить, в условиях идеологического монополизма и доминирования тотальной власти к духовной нищете, к появлению слоя «придворных юристов» – безропотных слуг режима» [6, с. 6].

Не опровергая позицию авторов, разделяющих мнение, что черты функционирования государств, приближенные к современному, складываются в эпоху Просвещения (в ходе Тридцатилетней войны четко обозначилась проблема государственного суверенитета, что привело к осмыслению международной деятельности, зародились предпосылки социологического измерения политических отношений и т.д., и т.п.), все же отметим, что, на наш взгляд, в эту эпоху, скорее, оформляется то, что задолго до вышеописанных процессов уже имело место в той или иной форме. Исследователи отмечают этот парадокс: «... никакой философ нового общественного строя придумать не может. Но это еще не основание для того, чтобы считать, будто новый общественный строй создается во все без участия всякой мысли. Историю делают люди, наделенные сознанием. В отличие от камней, растений и животных они всегда думают, когда делают что-то. Правда, поначалу это еще не мысль, действительно заслуживающая столь высокого звания. Это, скорее, практическая сметка, которую трудно отделить от самого действия. А потому она редко выражается во внятном, рафинированном слове и еще реже изливается на бумагу. (...). Народ правду знает, но не говорит, в чем она. Тот, кто действует, говорит и пишет мало. Ему недосуг оттачивать ораторское и писа-

тельское мастерство. (...). Народ книг не пишет. А между тем историю делает именно он, а не отдельные великие вожди или иные сверхчеловеки. Все великие деятели становились великими только тогда, когда выражали волю больших социальных групп, становились их символами и знаменем. Когда в них, великих, мог узнать себя каждый, к такой группе принадлежащий» [7, с. 121].

Что же такого «витало в воздухе» во времена Возрождения, а позже – Просвещения, что подтолкнуло государства к новому витку развития взаимоотношений, к тому, что начинает складываться система международного права в соответствии с теми принципами, которые являются актуальными вплоть до сегодняшнего дня? Ответов несколько. Во-первых, это великие географические открытия, начавшиеся в XV веке и продолжавшиеся вплоть до XVII, которые существенно расширили мировоззрение человека эпохи Возрождения и Реформации, что наложило свою печать и на эпоху Просвещения. Необходимость налаживать торговые и иные отношения с другими государствами, так или иначе, способствовала становлению системы международных связей на более интенсивной основе.

Во-вторых, научный прогресс, и главное его достижение – книгопечатание, которое делало достоянием гласности к тому времени уже не только религиозные издания, но и светские. С этим связана и третья причина – изменение витальных знаний о мире и стремление расширить эти знания до уровня международных отношений в том числе. И именно здесь государство выступает как основной субъект отношений. Остановимся на этом более подробно.

Исследователи, рассуждая о витальных знаниях, утверждают: «Человеку отчего-то надо непрерывно соотносить себя не только с планетой Земля, и с Солнцем, с Луной и звездами, но и *со всем космосом в целом*. Не было такого мига в истории человечества, в который каждый его представитель не мог бы ответить, не задумываясь, как устроена *вся вселенная*. Никаким практическими потребностями этого не объяснить. Мореплаватели, которым нужно было ориентироваться по звездам, никогда не составляли большинства человечества. И тем не менее *любой человек всегда имел собственное представление об устройстве мира в целом*. Оно витально необходимо ему, чтобы сохранять психическое равновесие» [8, с. 71]. И вот это равновесие было значительно нарушено в рассматриваемую эпоху. Мир стал шире, а то, что неизвестно, пугает. Одновременно с этим усложнялся общественный строй, выделялись новые профессии, виды деятельности, расширялся информационный мир личности. И, надо полагать, что в то время человечество массово пережило в первый раз феномен, когда «необходимое условие сохранения человечества в условиях информационной революции – формирование надличностного сознания в дополнение к сознанию индивидуальному» [9, с. 58]. И воплощением такого надличностного сознания становится государство, потому что «владелец средств производства может быть не

только отдельный человек или группа (объединенная в корпорацию), но и воплощение всех членов общества – государство. Классический пример вынужденного воздействием внешней среды преобладания государственной собственности – ирригационные системы в пустыне. В этих условиях каждый отдельный человек изначально привязан к средствам производства и не может существовать за их пределами: земля плодородна только в орошаемой части, а система орошения слишком велика и сложна, чтоб ее можно было поддерживать усилиями лишь части общества» [9, с. 69]. Таким образом, именно государство становится на момент трансформации витальных знаний человека выразителем его интересов, в том числе и на арене международных отношений, поскольку мир усложняется и отдельный разум уже не в состоянии осмыслить всю сложность происходящих процессов.

Современное общество переживает сегодня очередную волну трансформации витальных знаний. Если в период Возрождения это было связано с географическими открытиями и скачкообразным распространением информации, обусловленным развитием книгопечатания, то в наше время тоже есть ряд причин, которые, с одной стороны, породили изменения в мировоззрении людей, с другой стороны, выдвинули государство в качестве субъекта правотворчества на первый план.

Согласно теории витальных ресурсов, любой человек является обладателем четырех экономических активов: денег, жизненной энергии, знаний и времени [10]. Без сомнения, витальный ресурс – основной ресурс в борьбе государств за первенство на международной арене, поскольку позволяет удовлетворить запросы масс в тот или иной период времени. Ускорение, вызванное технической, биологической и другими революциями, делает в нашу эпоху наиболее востребованным временной ресурс. Даже в многократно увеличивающихся потоках информации ценным становится именно то, как быстро информация достигает адресата. Иногда доли секунд определяют исход многомиллионных коммерческих сделок, политических акций. Без сомнения, государство, обладающее властью над востребованным витальным ресурсом, – монополист в установке правил коллективных игр. В данном случае власть над временем нами мыслится не как метафорическая аллегория, а как вполне измеряемый ресурс, определяемый не столько техническими качествами (хотя и этот аспект требует детального изучения), сколько качественными показателями. Позволим высказать мысль, что время в современную эпоху ускоряется не за счет того, что меняется его физическое свойство, а за счет того, что в одну единицу времени человек может вложить гораздо больше событий, чем за ту же единицу мог это сделать его предок. А это влечет за собой распределение еще одного ценного ресурса – знания.

Увеличенные в разы информационные потоки, воздействие которых испытывает на себе современный человек, трудно систематизировать: отделить первоначальную информацию от информации, порожденной в качестве реакции на уже существующую

информацию отдельному субъекту вряд ли под силу. Таким образом, упорядочить знания о мире, привести их в систему, оказывается крайне сложным. Однако потребность в витальных знаниях у человечества по-прежнему остается.

Благодаря науке заметно расширились наши знания об окружающем нас мире (покорение космоса, построение андронного коллайдера и т.д.); благодаря войнам (реальным и «холодным») было создано и опробовано в действии оружие массового уничтожения. Более того, пожалуй, впервые в истории человечества благодаря достижениям в области медицины вместе могут сосуществовать несколько поколений (наши деды впервые видели в действии огромные экскаваторы, отцы запустили в космос человека, мы смогли пользоваться персональным компьютером, наши дети опробовали мобильные телефоны). Таким образом, адаптация к окружающему миру, способность «сжимать» и «растягивать» время за счет его нового качественного наполнения, – вот, пожалуй, корень многих социальных изменений, которые мы в массовом порядке наблюдаем сегодня.

Без сомнения, все эти изменения приводят к социальным потрясениям: изменяется качество знаний, продлевается активность старшего поколения наряду с активностью среднего и молодого. Конечно, роль государства в данном случае еще только предстоит осмыслить, поскольку аксиоматично: чем больше развивается гражданское общество, личная ответственность, индивидуализм, тем меньше остается регулирующих функций у государства в отношении отдельной личности. Однако, вернувшись к вопросу о витальных ресурсах, все же отметим, что, на наш взгляд, приоритеты в данном вопросе расставляет именно государство, которое формирует определенный «заказ» на те знания, что наполняют определенную единицу времени. Именно государство не просто формирует этот заказ как внутри, так и в соотношении с другими участниками международных отношений, но и во многом выполняет этот заказ, предоставляя возможность обучения своего населения в вузах.

На этом фоне заметно возрастает правотворческая функция государства как на внутригосударственном уровне, так и во внешней среде, в межгосударственных взаимодействиях. Отдельный человеческий разум уже не в состоянии дать однозначные оценки происходящему – становится сложным отфильтровать разную информацию, выработать определенную позицию. Эту задачу во многом решает государство, определяя и расставляя приоритеты. Наблюдается парадокс: чем больше у человечества на сегодняшний день знаний о сфере политики, чем больше расширяются взаимосвязи отдельных индивидов и их групп благодаря интернету, чем интенсивней обсуждается в политической науке трансформация понятия государственного суверенитета в эпоху глобализации, тем сильнее становится тяга человека к эффективному государству и тем активнее он доверяет государству процесс правотворчества в разных сферах.

Таким образом, можно сделать вывод: процесс развития международных отношений в условиях глобализации становится все интенсивнее. В современных условиях все труднее дать однозначную оценку действиям одного, отдельно взятого государства, поскольку оно функционирует во многих сферах: экономика, политика, культура, спорт и т.д. Не совсем верными являются утверждения, что отношения между таким-то и таким-то государством стали натянутыми, потому что при всей сложности политических взаимодействий остаются культурные, экономические и другие контакты разных субъектов политики, начиная от отдельной личности и заканчивая различными объединениями. Все это приводит к тому, что международные отношения вынужденно «распадаются» по сферам деятельности. Такое многообразие взаимодействий трудно усваивается в пределах одного человеческого разума. Именно поэтому в эпоху распространения глобализационных тенденций будет продолжаться тяга к упорядочению накопленных знаний, и приоритет в этом отношении будет отдаваться, на наш взгляд, национальному государству.

Во-вторых, лавинообразный поток информации, в котором отдельный индивид ориентируется с большим трудом, потребует от национальных государств решительных действий в области информационного права. Думается, что китайский вариант по ограничению информационного пространства Интернет, – одна из возможных версий реакции государства на информационный вызов. Вряд ли такое решение применимо ко всем странам без исключения. Соединенные Штаты Америки пошли по иному пути – по пути усиления общественной значимости СМИ [11]. По какому пути пойдет Российская Федерация еще предстоит увидеть. Однако, как справедливо отмечают исследователи, «в научной работе и в печати должно больше уделять внимания развитию русской государственности, освещению исторической роли России на международной арене. Роль России на международной арене выявлена еще недостаточно. Значение же русского государства для развития международного права почти не освещено в советской монографической литературе. Между тем Россия не раз выдвигала весьма острые проблемы международного права и дипломатии в порядок дня мировой истории» [5, с. 3]. Таким образом, заявленная проблема требует изучения как в рамках отдельно взятой национальной науки, так и в рамках международного права.

Список литературы

1. Ольшанский Д.В., Пеньков Е.Ф. Политический консалтинг. СПб.: Питер, 2005. 448 с.
2. Цыбаков Д., Кафтанчиков Д. Как противостоять информационной агрессии // Государственная служба. 2008. №5(55). С. 64-69.
3. Экштайн К. Основные права и свободы по российской Конституции и Европейской Конвенции: учеб. пособие для вузов. М.: Изд-во Nota Bene, 2004. 496 с.
4. Аннерс Э. История европейского права: пер. со швед. / Ин-т Европы. М.: Наука, 1994. 397 с.
5. Кожевников Ф.И. Русское государство и международное право (до XX века) / под ред. Л.Н. Шестакова. М.: Зерцало, 2008. 312 с. (Серия «Русское юридическое наследие»).
6. Алексеев С.С. Проблема всеобщей теории права // Вестник Гуманитарного университета. Серия «Право»: Научный альманах. Екатеринбург, 2000. №1 (2). С. 6-10.

7. Перцев А.В. Почему Европа не Россия (Как был придуман капитализм). М.: Академический Проект, 2005. 384 с. (Серия «Философские технологии»).
8. Перцев А.В. Душа в дебрях технологий. М.: Академический Проект; Екатеринбург: Деловая книга, 2004. 224 с. (Серия «Философские технологии»).
9. Делягин М.Г. Драйв человечества. Глобализация и мировой кризис. М.: Вече, 2008. 528 с.
10. Балацкий Е.В. Теория жизненных ресурсов: модели и эмпирические оценки // Мониторинг общественного мнения. 2007. №2.
11. Корявин Л. От небоскребов до «одноэтажной Америки»: как строится в США власть на местах // Российская Федерация. 1994. №12. С. 29-31.

Сведения об авторе

Борисов Алексей Николаевич – канд. полит. наук, зав. кафедрой ЮНЕСКО, Московский государственный институт международных отношений, Россия. E-mail: UNA-Russia <una@una.ru>.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE STATE AS AN ACTOR LAWMAKING RELATIONS: THE PRECONDITIONS OF DEVELOPMENT AND MODERN STATE OF THE PROBLEM

Borisov Alexey Nikolaevich – Ph.D. (Political), Head of the UNESCO, chair of MGIMO-University, Russia. E-mail: UNA-Russia <una@una.ru>.

Abstract. The history of the state development as a subject of legal relations has been developing in leaps and bounds. The first leap was connected with the Renaissance, and then with the Enlightenment. At that time the great geographical discoveries and the book printing development significantly expanded the cognitive abilities of a human being. The filtering functions of the dawned flow of information the humanity relegated to the state. The same thing is happening nowadays, when we keep watch another leap in the development of science. It is for the state the function of law-making has been assigned both inside the state and in the international arena.

Keywords: human rights, policy, lawmaking, the subject of legal relations.

References

1. Olshansky, D.V., Penkov E.F. *Political consulting*. S.Peterburg: Peter, 2005, 448 p.
2. Tsybakov D., Kaftanchikov D. How to cope with the information of aggression. *State service*. 2008. no. 5(55), pp. 64-69.
3. Eckstein K. *The fundamental rights and freedoms according to the Russian Constitution and the European Convention: a textbook for institutes of higher education*. Moscow: Nota Bene, 2004, 496 p.
4. Anners E. *History of European law*: transl. from a Swede. In-t Europe. Moscow: Science, 1994. 397 p.
5. Kozhevnikov F.I. *The Russian state and international law (before the twentieth century)*. Ed. L.N. Shestakova. Moscow: Mirror, 2008, 312. (A series of «Russian legal heritage»).
6. Alekseev S.S. The problem of the universal theory of law. *Bulletin of the University of the Humanities: the Series «Law»: the Scientific almanac*. Ekaterinburg: Humanities University, 2000, no. (2), pp. 6-10.
7. Pertsev A.V. *Why Europe is not Russia (As was coined by capitalism)*. Moscow: Academic Project, 2005, 384 p. (Series «Philosophy of technology»).
8. Pertsev A.V. *The soul in the wilds of technologies*. Moscow: Academic Project; Ekaterinburg: Business book, 2004, 224 p. (Series «Philosophy of technology»).
9. Delyagin M.G. *Drive humanity. Globalization and the global economic crisis*. Moscow: Vechе, 2008, 528 p.
10. Balatsky E.V. Theory of vital resources: a model and empirical assessments. *Public opinion Monitoring*. 2007, no. 2.
11. Koryavin L. From skyscrapers to «one-storey America»: how is the U.S. government in an area. *Russian Federation*. 1994, no. 12, pp. 29-31.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Айбашев Дилмурод Маматхалилович – целевой аспирант Кызыл-Кийского института природопользования и геотехнологии «Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова», г. Кызыл-Кия, Кыргызстан. Тел.: 8(3519) 29-85-45. E-mail: aibashevdm@rambler.ru.

Белевский Леонид Сергеевич – д-р техн. наук, проф. кафедры прикладной механики и графики ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8 (3519) 29-84-38. E-mail: l.belevskiy@mail.ru.

Белоногов Олег Витальевич – начальник службы управления ПК ОТ и ПБ горного производства СФ ОАО «Учалинский ГОК», г. Сибай, Башкортостан. Тел.: (34775) 4-20-13. E-mail: belo69ov@mail.ru.

Бигеев Вахит Абдрашитович – д-р техн. наук, проф., директор института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: v.bigeev11@yandex.ru.

Борисов Алексей Николаевич – канд. полит. наук, зав. кафедрой ЮНЕСКО, Московский государственный институт международных отношений, Россия. E-mail: UNA-Russia <una@una.ru>.

Будовских Евгений Александрович – д-р техн. наук, проф. кафедры физики ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия. Тел. (3843) 78-43-91, факс (3843) 46-57-92. E-mail: budovskih_ea@physics.sibsiu.ru.

Бушуев Антон Николаевич – преподаватель кафедры теплоэнергетики и теплотехники Орского гуманитарно-технологического института (филиала) ВПО «Оренбургский государственный университет», Россия. Тел.: 8(3537)23-81-98. E-mail: nielsen1@mail.ru.

Васчук Екатерина Степановна – канд. техн. наук, доц. кафедры физики ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия. Тел.: (3843) 78-43-91, факс (3843) 46-57-92. E-mail: vaschuk@bk.ru.

Гоготин Алексей Анатольевич – канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры подземной разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8(3519)29-84-61, 29-84-66. E-mail: prmpri@magtu.ru.

Громов Виктор Евгеньевич – д-р. физ.-мат. наук, проф., зав. кафедрой физики ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия. Тел.: (3843) 78-43-66, факс (3843) 46-57-92. E-mail: gromov@physics.sibsiu.ru.

Гулин Александр Евгеньевич – аспирант кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия.

Гюнтер Дмитрий Александрович – канд. физ.-мат. наук, зав. кафедрой теплоэнергетики и теплотехники Орского гуманитарно-технологического института (филиала) ВПО «Оренбургский государственный университет», Россия. Тел.: 8(3537)23-81-98. E-mail: guenter@orsksamgups.ru.

Дыя Хенрик – д-р техн. наук, проф., Ченстоховский технологический университет, Польша. E-mail: dyja@wip.pcz.pl.

Журба Валерий Владимирович – доц. кафедры теоретической механики Донецкого национального технического университета, Украина. E-mail: tmech@mail.ru.

Зотеев Олег Вадимович – д-р техн. наук, проф., зав. лабораторией геодинамики и горного давления, генеральный директор ООО «Инновационно-экспертный центр ИГД УрО РАН», г. Екатеринбург, Россия. Тел.: 8(922)208-69-84. E-mail: zoteev.o@mail.ru.

Зубков Антон Анатольевич – канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры подземной разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8(3519)29-84-61, 29-84-66. E-mail: prmpri@magtu.ru.

Зубков Артем Анатольевич – аспирант кафедры подземной разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8(3519)29-84-61, 29-84-66. E-mail: prmpri@magtu.ru.

Иванов Юрий Федорович – д-р. техн. наук, проф. Института сильноточной электроники СО РАН, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия. Тел.: (3843) 78-43-66. E-mail: yufi55@mail.ru.

Иванова Ирина Владимировна – аспирант кафедры литейного производства и материаловедения ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: ivanova.mgtu@mail.ru.

Исмагилов Рамиль Равкатович – аспирант кафедры прикладной механики и графики ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», ведущий специалист по валкам и подшипникам отдела оборудования ОАО «ММК», Россия. Тел.: 8 (3519) 24-75-20. E-mail: valki@mmk.ru.

Кавалек Анна – д-р техн. наук, доц., Ченстоховский технологический университет, Польша. E-mail: kawalek@wip.pcz.pl.

Калмыков Вячеслав Николаевич – д-р техн. наук, проф. зав. кафедрой подземной разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8(3519)29-84-61, 29-84-66. E-mail: prmpri@magtu.ru.

Каменева Анна Львовна – канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Россия. Тел.: (3422) 224-24-05. E-mail: kameneva@pstu.ru.

Каскин Куат Камарович – канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой «Металлургия» Актюбинского государственного университета им. К. Жубанова, г. Актюбе, Казахстан. E-mail: kuatkamarovich@rambler.ru.

Колокольцев Валерий Михайлович – д-р техн. наук, проф., ректор ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8(3519)29-84-02. E-mail: kwm@magtu.ru.

Кольга Анатолий Дмитриевич – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой горные машины и транспортно-технологические комплексы ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: 8(3519) 29-85-20. E-mail: kad-55@magtu.ru.

Кочетков Сергей Михайлович – канд. физ.-мат. наук, Белорусский государственный университет, г. Минск, Белоруссия. E-mail: sergeykochetkov@yandex.ru.

Красносельская Дина Хадимовна – аспирант Института социально-экономических исследований УНЦ РАН, г. Уфа, Башкортостан. E-mail: dina-hamzina@mail.ru.

Кубак Денис Анатольевич – аспирант кафедры химической технологии неметаллических материалов и физической химии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: deniskubak@yandex.ru.

Кузбаков Жанаберген Иманкулович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Металлургия», Актюбинский государственный университет им. К. Жубанова, г. Актюбе, Казахстан. Тел.: (7132) 998578. E-mail: flora_karim@mail.ru.

Масно Томоёши – Технологический университет Тойохаси, г. Тойохаси, Япония. E-mail: mori@plast.me.tut.ac.jp.

Мирюк Ольга Александровна – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой строительства и строительного материаловедения Рудненского индустриального института, Казахстан. Тел.: 8(71431) 5-07-03. E-mail: psm58@mail.ru.

Моисеев Владимир Олегович – аспирант кафедры автоматизированного электропривода и мехатроники ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: iskar@mail.ru.

Мори Кен-Ихиро – профессор Технологического университета Тойохаси, г. Тойохаси, Япония. E-mail: mori@plast.me.tut.ac.jp.

Окулов Роман Александрович – аспирант кафедры «Металлургические и роторные машины» ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия. E-mail: okulov.roman@gmail.com.

Омельченко Евгений Яковлевич – канд. техн. наук, доц. кафедры автоматизированного электропривода и мехатроники ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: (3519) 29-85-29. E-mail: momentum2@yandex.ru.

Панишев Николай Васильевич – канд. техн. наук, доц. кафедры «Металлургия черных металлов» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: (3519) 29-84-49.

Парусов Владимир Васильевич – д-р техн. наук, проф., зав. отделом термообработки металлов для машиностроения Института черной металлургии (ИЧМ) Национальной Академии наук Украины, г. Днепропетровск, Украина. E-mail: alyance2000@ukr.net.

Парусов Олег Владимирович – канд. техн. наук, старший научный сотрудник отдела термообработки металлов для машиностроения Института черной металлургии (ИЧМ) Национальной Академии наук Украины, г. Днепропетровск, Украина. E-mail: alyance2000@ukr.net.

Паршин Сергей Владимирович – д-р техн. наук, проф. кафедры «Металлургические и роторные машины» ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия. E-mail: netskater@mail.ru.

Песин Александр Моисеевич – д-р техн. наук, проф. кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: pesin@bk.ru.

Петров Игорь Михайлович – аспирант кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: (3519) 29-84-82. E-mail: petrov.mgtu@gmail.com.

Петроченко Елена Васильевна – д-р техн. наук, доц. кафедры литейного производства и материаловедения ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: evr3738@mail.ru.

Петухов Василий Николаевич – д-р техн. наук, проф. кафедры химической технологии неметаллических материа-

лов и физической химии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: chief.petuhov2013@yandex.ru.

Пимонова Татьяна Константиновна – доц. кафедры менеджмента ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: arapovat@bk.ru.

Полякова Марина Андреевна – канд. техн. наук, доц. кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: m.polyakova-64@mail.ru.

Пустовойтов Денис Олегович – канд. техн. наук, ст. преп. кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: pustovoi-tov_den@mail.ru.

Райков Сергей Валентинович – канд. техн. наук, доц. кафедры физики ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия. Тел.: (3843) 78-43-91, факс (3843) 46-57-92. E-mail: vest2002@mail.ru.

Родионов Николай Александрович – аспирант кафедры «Механическое оборудование заводов черной металлургии» Донецкого национального технического университета, Украина. Тел.: +38 (062) 301-08-39. E-mail: r-n-a@ukr.net.

Романов Денис Анатольевич – ст. преп. кафедры физики ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия.

Рыдз Дариуш – д-р техн. наук, доц., Ченстоховский технологический университет, Польша. E-mail: rydz@wip.pcz.pl.

Семенов Дмитрий Георгиевич – директор ЗАО ИПК «Роснефтехим», г. Уфа, Башкортостан.

Сжинский Павел – аспирант, Ченстоховский технологический университет, Польша. E-mail: szyjnski@wp.pl.

Сонг Гуолин – доц., зав. лабораторией института перспективных материалов университета Цинхуа, г. Шэньчжэнь, Китай. E-mail: tanggy@tsinghua.edu.cn.

Сотников Алексей Леонидович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Механическое оборудование заводов черной металлургии» Донецкого национального технического университета, Украина. Тел.: +38 (062) 301-08-39. E-mail: m-lab@ukr.net.

Сошина Татьяна Олеговна – зав. лабораторией, Лысьвенский филиал ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Россия. Тел.: (34249) 6-10-79. E-mail: soshtanya@rambler.ru.

Сухомлин Владимир Иванович – канд. техн. наук, доцент кафедры физики твердого тела Днепродзержинского государственного технического университета, г. Днепродзержинск, Украина. E-mail: alma31@mail.ru.

Сычков Александр Борисович – д-р техн. наук, проф. кафедры литейного производства и материаловедения ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: absychkov@mail.ru.

Танг Гоун – проф., директор Института перспективных материалов университета Цинхуа, г. Шэньчжэнь, Китай. E-mail: tanggy@tsinghua.edu.cn.

Тележкин Олег Анатольевич – студент кафедры автоматизированного электропривода и мехатроники ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: gopko49@rambler.ru.

Торбус Нина – аспирант, Ченстоховский технологический университет, Польша. E-mail: ntorbus@wip.pcz.pl.

Трильев Антон Евгеньевич – инженер ОАО «ИнЭкО», г. Челябинск, Россия. Тел.: (351) 265-55-04. E-mail: ineco@bk.ru.

Федосеева Мария Александровна – аспирант Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия. Тел.: (950)8547555. E-mail: paprushik@mail.ru.

Хамедон Замзури – Технологический университет Тойохаши, г.Тойохаши, Япония. E-mail: mori@plast.me.tut.ac.jp.

Харитонов Вениамин Александрович – канд. техн. наук, проф. кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: (3519) 29-84-82. E-mail: petrov.mgtu@gmail.com.

Черняев Александр Александрович – аспирант кафедры «Металлургия черных металлов» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: alexch_study@mail.ru.

Чижевский Владимир Брониславович – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой обогащения полезных ископае-

мых ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: (3519) 298555. E-mail: magtu_opi@mail.ru.

Чуйко Игорь Николаевич – канд. техн. наук, научный сотрудник отдела термообработки металлов для машиностроения Института черной металлургии (ИЧМ) Национальной Академии наук Украины, г. Днепропетровск, Украина. Тел. + 380 505 958 597. E-mail: ichuyko@mail.ru.

Чукин Михаил Витальевич – д-р техн. наук, проф., проректор по научной и инновационной работе ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: m.chukin@mail.ru.

Шавакулева Ольга Петровна – канд. техн. наук, доц. кафедры обогащения полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: (3519) 298555. E-mail: magtu_opi@mail.ru.

Ямашита Юя – Технологический университет Тойохаши, г.Тойохаши, Япония. E-mail: mori@plast.me.tut.ac.jp.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Мы приглашаем Вас к участию в нашем журнале в качестве авторов, рекламодателей и читателей.

Журнал формируется по разделам, отражающим основные направления научной деятельности ученых МГТУ, в частности:

- РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.
- МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ.
- ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ.
- ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО
- ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ.
- МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ.
- СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ.
- МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.
- НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ.
- ЭНЕРГЕТИКА МЕТАЛЛУРГИИ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ.
- УПРАВЛЕНИЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ.
- СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ.
- ЭКОЛОГИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ.
- ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И РЫНОК ПРОДУКЦИИ.
- СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ, ПОДГОТОВКА И ОБУЧЕНИЕ СПЕЦИАЛИСТОВ.
- ИНФОРМАЦИЯ и др.

ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ, ПРИНИМАЕМЫМ К ПУБЛИКАЦИИ

1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СТАТЬИ

(на русском и английском языках)

1.1. Наименование статьи (не более 15 слов). Должно кратко отражать содержание статьи. Не рекомендуется использовать сокращения и аббревиатуры.

1.2. Аффiliation. Указывается фамилия, имя, отчество авторов (транслитерация), ученая степень, звание, должность, полное название организации (ее официально принятый английский вариант), адрес электронной почты хотя бы одного из авторов.

1.3. Аннотация (100-250 слов). Включает гипотезу, цель, эксперименты и методы, основные результаты, применение результатов исследования в промышленности (излагается в прошедшем времени).

Онлайн-перевод запрещается!

1.4. Ключевые слова: от 5 до 15 основных терминов.

2. СТРУКТУРА ОСНОВНОЙ ЧАСТИ СТАТЬИ

2.1. Введение (постановка проблемы)

2.2. Теория, материалы и методы исследования, технические и технологические разработки

2.3. Результаты исследования и их обсуждение

2.4. Заключение (выводы)

2.5. Список литературы (на русском и английском языках)

3. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

3.1. Рекомендуемый объем статьи – 6-8 стр.

3.2. Текст статьи, сведения об авторах, аннотация ключевые слова и список литературы представляются на электронном носителе в виде файла, созданного средствами **Microsoft Word**, и распечаткой на стандартных листах бумаги формата А4.

При наборе статьи в **Microsoft Word** рекомендуются следующие установки:

- **шрифт** – **Times New Roman**, размер – 14 пт, межстрочный интервал – одинарный, перенос слов – автоматический;
- при вставке **формул** использовать встроенный редактор формул **Microsoft Equation** со стандартными установками, применяется только сквозная нумерация;
- **рисунки и фотографии**, вставленные в документ, должны быть четко выполнены, допускать перемещение в тексте и возможность изменения размеров (толщины линий и размеры обозначений должны обеспечивать четкость при уменьшении рисунка до рациональных размеров), в форматах *.TIF, *.JPG, с разрешением **не менее 300 dpi**, B&W – для черно-белых иллюстраций, Grayscale – для полутонов. Максимальный размер рисунка с подписью – 150×235 мм. В тексте статьи должны быть подрисовочные подписи в местах размещения рисунков. Например:
- **таблицы** нумеруются, если их число более одной. Заголовков необходим, когда таблица имеет самостоятельное значение, без заголовка дают таблицы вспомогательного характера.

3.3. При подготовке рукописи необходимо руководствоваться Международной системой единиц **СИ**.

4. ДОКУМЕНТЫ, ПРИЛАГАЕМЫЕ К СТАТЬЕ

4.1. Рецензия.

4.2. Экспертное заключение о возможности опубликования.

4.3. Договор.

Внимание! Публикация статей является бесплатной. Преимущество опубликования предоставляется авторам и учреждениям, оформившим подписку на журнал.

Статьи проходят обязательное научное рецензирование.

Редакция оставляет за собой право отклонять статьи, не отвечающие указанным требованиям.

По вопросам публикации статей обращаться: 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. Магнитогорский государственный технический университет, Редколлегия журнала «Вестник МГТУ» М.В. Чукину.

Телефоны: (3519) 29-85-26, 22-14-93.

E-mail: rio_mgtu@mail.ru; vestnik@mgtu.ru (с указанием темы сообщения «Вестник МГТУ»).