

ВЕСТНИК

Магнитогорского государственного
технического университета им. Г. И. Носова

№2 (42) июнь 2013 г.

Журнал включен в Перечень российских рецензируемых научных журналов и изданий, 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 ВИНТИ. Электронные версии журнала размещаются на сетевом ресурсе Научной Электронной Библиотеки в сети Интернет.

Издается с марта 2003 года

Редакционный совет

Председатель редсовета:

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

Члены редсовета:

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

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

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

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

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

Мацей Питчек – профессор горно-
металлургической академии, г.Краков, Польша.

Кен-Ихиро Мори – профессор Технологического
университета, г.Тойохаси, Япония;

Хенрик Дыя – проф., д-р техн. наук,
директор Института обработки металлов
давлением и инженерии безопасности,
Польша.

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

Главный редактор:

М.В. Чукин – проф., д-р техн. наук.

Первый зам. главного редактора:

Г.С. Гун – проф., д-р техн. наук.

Зам. главного редактора:

А.Г. Корчунов – проф., д-р техн. наук.

Ответственные секретари:

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

М.В. Шубина – доц., канд. техн. наук.

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

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

Адрес редакции:

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

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

Отпечатан на полиграфическом участке МГТУ.

Подписано к печати 20.06.2013.

Заказ 364. Тираж 500 экз. Цена свободная.



VESTNIK

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

№2 (42) June 2013

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

PUBLISHED SINCE MARCH, 2003

Editorial committee

Chairman of editorial committee:

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

Members of the editorial committee:

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

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

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

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

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

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

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

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

Editor-in-chief:

M.V. Chukin – Prof., D.Sc.

First deputy chief editor:

G.S. Gun – Prof., D. Sc.

Deputy chief editor:

A.G. Korchunov – Prof., D.Sc.

Executive editors:

M.A. Polyakova – Assoc. Prof., Ph.D.

M.V. Shubina – Assoc. Prof., Ph.D.

Editor: N.V. Kutekina.

Technical editor: G.N. Lapina.

© Federal state budgetary institution of higher professional education
«Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov», 2013

Subscription index 48603 in the common catalog «The Russian Press» Volume 1.

Also subscribe on-line can be issued and paid in the format you require a subscription page on the Agency's website «The Book Service» at:

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

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

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

Founder – State Educational Institution «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov» (455000, Chelyabinsk Region, Magnitogorsk, Lenin Avenue, 38)

16+ in according to a Federal Law 29.12.10. №436-FL

Editorship address:

455000, city Magnitogorsk, Lenin Str. 38

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

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

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

Prepared for publication by publishing center of MSTU named after G.I. Nosov.

Printed in the Printing MSTU Area

Signed for press 2013.06.20.

Order 364. Circulation – 500 items. Free price.



СОДЕРЖАНИЕ

Разработка полезных ископаемых	5	<i>Коленчин Н.Ф., Кусков В.Н., Сафронов А.В., Шадрин П.Н.</i> Влияние озона и ультразвука на формирование и свойства анодного покрытия на алюминии и его сплавах.....	52
<i>Мажитов А.М., Мецераков Э.Ю.</i> Определение параметров и показателей адаптивного варианта системы разработки с площадно-торцевым выпуском для условий отработки пологих залежей.....	5	Материаловедение и термическая обработка металлов	56
<i>Мельников И.Т., Заляднов В.Ю., Шевцов Н.С., Павлова Е.В., Погорелов А.Ю., Смяткин А.Н.</i> Автоматизированный расчет устойчивости откосов бортов карьеров	8	<i>Голубчик Э.М., Концева Н.В., Мешкова А.И., Ефимова Ю.Ю., Никитенко О.А., Медведева Е.М.</i> Влияние отжига на формирование микроструктуры и свойства сварных соединений, полученных при лазерной сварке полос из низкоуглеродистых сталей	56
<i>Вагин В.С., Курочкин А.И.</i> Демпфирование динамических нагрузок передвижных проходческих подъемных установок с безредукторным высокомоментным гидроприводом.....	12	<i>Корягин Ю.Д., Окишев К.Ю., Созыкина А.С.</i> Оценка влияния содержания углерода и режима термической обработки на фазовый состав хромованадиевых чугунов	59
<i>Осадчий В.И., Маулябаев Т.И., Кузьмин С.Л.</i> Проектирование технологии обмена контейнеров на подъемных пунктах	16	<i>Загиров Н.Н., Иванов Е.В., Ковалева А.А., Аникина В.И.</i> Особенности формирования структуры и свойств горячепрессованных прутков, получаемых из сыпучей стружки свинцовой латуни	64
Технологии переработки и утилизации техногенных образований и отходов.....	19	Моделирование металлургических процессов.....	69
<i>Рыльникова М.В., Емельяненко Е.А., Ангелова Е.И.</i> Эффективность действия технического лигносульфоната при выщелачивании старогонных отходов переработки медно-колчеданных руд	19	<i>Мошкунев В.В., Столяров А.М., Казаков А.С., Буланов Л.В., Юровский Ю.А., Черемисин Д.Д.</i> Математическое моделирование процесса мягкого обжата слябов при непрерывной разливке трубной стали.....	69
<i>Бикбаева Г.А., Орехова Н.Н., Куликова Е.А.</i> Применение клинкера в комплексной технологии переработки техногенных стоков горно-металлургических предприятий	22	Энергетика металлургии, энергосбережение и электротехнические комплексы.....	73
Литейное производство	26	<i>Кузбаков Ж.И.</i> Снижение уровня динамических нагрузок в электроприводе щековой дробилки при измельчении высокопрочных материалов	73
<i>Вдовин К.Н., Петров И.Е., Позин А.Е.</i> Замеры износов узких стенок кристаллизаторов МНЛЗ	26	<i>Заславец Б.И., Малафеев А.В., Ягольникова Е.Б.</i> Снижение тарифов на передачу электроэнергии за счет компенсации реактивной мощности.....	75
Обработка металлов давлением	29	Экономика, управление и рынок продукции	81
<i>Корчунов А.Г., Бигеев В.А., Сычков А.Б., Зайцев Г.С., Ивин Ю.А., Дзюба А.Ю.</i> Усовершенствование сквозной технологии производства бунтового проката из стали марки 80P в условиях ОАО «ММК»	29	<i>Латфуллин Р.Р., Васильева Н.Ф.</i> Особенности материально-технического снабжения в металлургических холдингах.....	81
<i>Колмогоров Г.Л., Снигирева М.В., Чернова Т.В.</i> Энергосиловые характеристики при волочении триметаллической заготовки	35	<i>Одер Д.Е.</i> Стратегическое планирование в области производительности труда и экономического роста в России.....	85
<i>Славин В.С., Бричко А.Г.</i> Методика аналитического описания геометрии очага деформации при волочении арматурной проволоки в калибре со смещенными парами роликов.....	37	<i>Акиенцев Ф.И., Трильев А.Е.</i> Совершенствование системы оплаты труда водителей автомобилей БелАЗ на Сибайском подземном руднике	87
<i>Найзабеков А.Б., Талмазан В.А., Ержанов А.С.</i> Моделирование процесса выкатываемости поверхностных дефектов полос типа «накол» при холодной прокатке с применением ЭВМ.....	44	<i>Кузина Г.В., Усманова К.Ф.</i> Разработка алгоритма коммерциализации инноваций	91
<i>Калугина О.Б.</i> Численное решение задачи оптимизации формы вытяжных калибров.....	47	Сведения об авторах.....	96
Технологии обработки материалов.....	50		
<i>Белевский Л.С., Белевская И.В., Ефимова Ю.Ю.</i> Восстановление размеров и формы деталей комбинированной обработкой.....	50		

CONTENT

Mining.....	5	Kolenchin N.Ph., Kuskov V.N., Safronov A.V., Shadrina P.N. Ozone and ultrasound influence on forming and properties of anode coating on aluminum and its alloys	52
<i>Mazhitov A.M., Mescheryakov E.J.</i> Definition of parameters and indicators adaptive version of the system design with area-butt release for the conditions of working off flat deposit.....	6	Material Science and Thermal Metal Treatment.....	56
<i>Melnikov I.T., Zalyadnov V.Y., Shevtsov N.S., Pavlova E.V., Pogorelov A.Y., Smyatkin A.N.</i> Automated calculation of slope stability of pit walls.....	8	<i>Golubchik E.M., Kopceva N.V., Meshkova A.I., Efimova J.J., Nikitenko O.A., Medvedeva E.M.</i> Effect of annealing on microstructure and properties of welded joints produced by laser welding of low carbon steel strips	56
<i>Vagin V.S., Kurochkin A.I.</i> Alignment of dynamic loadings mobile pass elevating installations with un reducer high moment a hydrodrive	12	<i>Koryagin Yu.D., Okishev K.Yu., Sozykina A.S.</i> Estimation of carbon content and heat treatment effects on phase composition of chromium-vanadium cast irons	59
<i>Osadchiy V.I., Maulyanbaev T.I., Kuzmin S.L.</i> Design technologies and exchange of containers on the lifting points.....	16	<i>Zagirov N.N., Ivanov E.V., Kovaleva A.A., Anikina V.I.</i> Peculiarities of structure and properties formation of hot pressed rods from leaded brass friable chips	68
Processing and Utilization Technologies of Formations and Wastes	19	Modeling of Metallurgical Processes.....	69
<i>Rylnikova M.V., Emelianenko E.A., Angelova E.I.</i> The effectiveness of the technical lignosulphonate leaching stale wastes from copper pyrite ores	19	<i>Moshkunov V.V., Stolyarov A.M., Kazakov A.S., Bulanov L.V., Yurovskiy N.A., Cheremisin D.D.</i> Mathematical simulation process soft redaction slabs of continuous casting tube steel	72
<i>Bikbaeva G.A., Orekhova N.N., Kulikova E.A.</i> Clinker application in complex treatment of technical sewage of mining and metallurgical facilities.....	22	Power Supply of Metallurgy, Energy Saving and Heat Power.....	73
Pressure Treatment of Metals	26	<i>Zh.I. Kuzbakov.</i> Reduction of dynamic loads from the drive the jaw crusher for crushing high-strength materials.....	73
<i>Vdovin K. N., Petrov I.E., Pozin A.E.</i> Measurements of CCM moulds narrow walls wears	28	<i>Zaslavets B.I., Malafeev A.V., Yagolnikova E.B.</i> Decrease in tariffs for electric power transfer at the expense of compensation of jet power	75
Pressure Treatment of Metals	29	Economics, Management and Production Market.....	81
<i>Korchunov A.G., Bigeev V.A., Sychkov A.B., Zaitsev G.S., Ivin Y.A., Dziuba Y.A.</i> Improvement of the rolling coils steel 80R in JSC «MMK».....	29	<i>Latfullin R.R., Vasileva N.F.</i> Features logistics in metallurgical holdings	81
<i>Kolmogorov G.L., Kobeleva E.K., Snigireva M.V., Chernova T.V.</i> Energy-power characteristics at drawing threemetal billet	35	<i>Oder D.E.</i> Strategic planning in the field of productivity and economic growth in Russia	85
<i>Slavin V.S., Brichko A.G.</i> Methods of analytical description of deformation zone geometry during reinforcement wire-drawing in the groove with offset rollers pairs.....	37	<i>Akshentsev F.I., Trilyev A.E.</i> Improving the system of wage drivers of the car in the underground mine of Sibay.....	87
<i>Naizabekov A.B., Talmazan V.A., Erzhanov A.S.</i> Simulation burnishing of superficial defects of the «pin-hole» type in cold rolling using computers	44	<i>Kuzina G.V., Usmanova C.F.</i> Algorithm development commercialization of innovation	91
<i>Kalugina O.B.</i> Numerical solving task of optimization shape of exhaust break-down pass.....	47	The information about the authors	99
Technologies of Material Processing.....	50		
<i>Belevskiy L.S., Belevskaiy I.V., Ephimova Y.Y.</i> Restoration of dimension and form of part by combined treatment	50		

РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.2

Мажитов А.М., Мещеряков Э.Ю.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ АДАПТИВНОГО ВАРИАНТА СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ С ПЛОЩАДНО-ТОРЦЕВЫМ ВЫПУСКОМ ДЛЯ УСЛОВИЙ ОТРАБОТКИ ПОЛОГИХ ЗАЛЕЖЕЙ

Аннотация. Проведены исследования основных закономерностей выпуска руды и обоснование рациональных параметров и области применения системы разработки с площадно-торцевым выпуском руды применительно к пологим залежам. Моделирование выпуска рудной массы производилось с учетом конструктивных и технологических особенностей применения площадно-торцевой технологии выпуска руды в условиях пологих рудных тел. В результате моделирования определены параметры и показатели системы разработки с площадно-торцевым выпуском руды.

Ключевые слова: Система разработки, площадно-торцевой выпуск, обрушение руд, моделирование выпуска, эквивалентные материалы, торцевой выпуск, потери, разубоживание.

Месторождения пологого залегания составляют значительную часть запасов медно-колчеданных руд и отличаются непостоянством горно-геологических и горнотехнических условий разработки, что является причинами ухудшения качества добываемого сырья. В таких условиях возможным решением отмеченной проблемы является разработка адаптивного варианта системы разработки, применение которого позволит оперативно и без существенного роста затрат реагировать на любые изменения условий разработки месторождения. Вышеуказанный подход был реализован путем конструирования варианта системы разработки с использованием принципа площадно-торцевого выпуска руды для отработки пологих рудных тел [1]. Обладая теми же преимуществами, что и широко применяемая технология подэтажного обрушения с торцевым выпуском, предлагаемый вариант способствует повышению показателей качества и полноты извлечения запасов за счет увеличения количества точек выпуска руды из секций.

Это было доказано исследованиями варианта площадно-торцевого выпуска руды для условий крутопадающих залежей при выпуске из секций, имеющих ромбовидную форму [2]. Применительно к пологим и наклонным рудным телам исследования закономерностей выпуска руды и обоснование рациональных параметров и области применения системы разработки с обрушением и площадно-торцевым выпуском руды ранее не проводились.

Применение площадно-торцевой технологии выпуска под обрушенными породами при отработке пологих рудных тел имеет свои специфические конструктивные и технологические особенности [3]. Извлечение руды производится из секций, имеющих форму параллелепипеда, ограниченных по высоте мощностью рудного тела. Поэтому исследование выпуска руды по площадно-торцевой схеме в условиях пологих рудных тел представляет научный и практический интерес.

При моделировании выпуска руды использовалась авторская универсальная модель (рис. 1), созданная в масштабе 1:100.

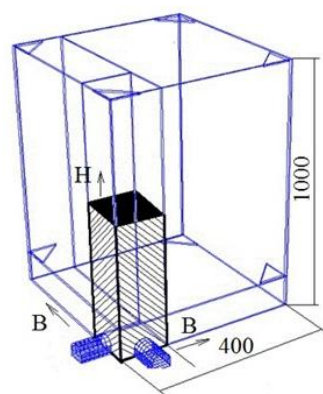


Рис. 1. Принципиальная схема модели лабораторной установки по выпуску рудной массы по площадно-торцевой схеме

Модель представляет собой каркас, изготовленный из прозрачного оргстекла, размерами 40×40 см и высотой 100 см. Представленная модель позволяет учитывать изменение толщины ($B=8-12$ м) и высоты ($H=20-40$ м) слоя, а также количества выпускных работок ($n=1-3$).

Исследования проводились при соблюдении геометрического, кинематического и динамического подобию [4-6]. Соблюдением закономерностей истечения в процессе моделирования выпуска руды является подобие конструктивных элементов модели, гранулометрического состава и равенства углов внутреннего трения и трения о стенки в модели и натуре.

Извлечение руды производилось с учетом конструктивных и технологических особенностей применения площадно-торцевой технологии выпуска руды под обрушенными породами в условиях пологих рудных тел. Ширина и высота составляла 8, 10 и 12 см,

что соответствует среднему диаметру потока руды при торцевом выпуске. Высота принималась равной 15, 20 и 30 см. Чтобы учесть влияние фронта развития горных работ, выпуск производился при количестве точек выпуска 1, 2 и 3. Для получения адекватных показателей выпуска на модели величины чистого извлечения, потерь и разубоживания умножались на переходный коэффициент 0,8 [7].

Графики зависимостей изменения показателей извлечения, потерь и разубоживания руды от ширины и высоты обрушенной секции при выпуске через два и три выпускных отверстия представлены на рис. 2-4.

При выпуске руды через торец и погрузочный заезд минимальные потери руды 8,3-8,4% и разубоживание 13,2-13,5% достигнуты при толщине секции

$B=8$ и 10 см соответственно для высоты $H=15$ и 20 см, то есть рациональная толщина отбиваемых секций, при которых обеспечиваются наилучшие показатели извлечения, составляет половину ее высоты. Поэтому для получения оптимальных показателей выпуска руды при отработке пологого рудного тела с невыдержанной мощностью отношение ширины и толщины секций необходимо соблюдать в пределах заданной величины $\approx 0,4-0,5$ от мощности. Изменение толщины секции от оптимальной характеризуется снижением показателей потерь и разубоживания выпуска на 6-10%. Увеличение толщины секции сопровождается значительными потерями руды на днище секции и нарастанием разубоживания от горизонтального контакта руды с обрушенными породами при отношении толщины секции и высоты более 0,5.

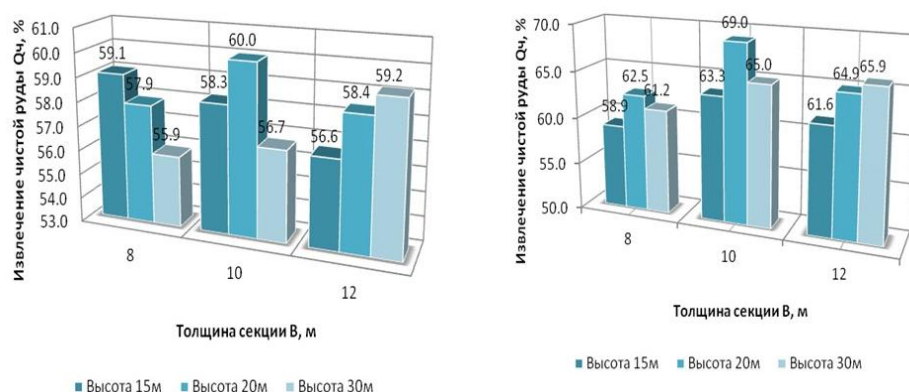


Рис. 2. Извлечение чистой руды до начала разубоживания в зависимости от ширины и высоты секции

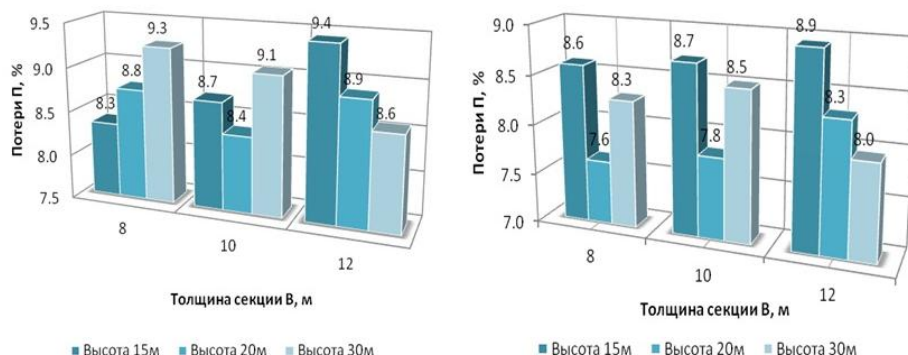


Рис. 3. Потери руды в зависимости от ширины и высоты секции

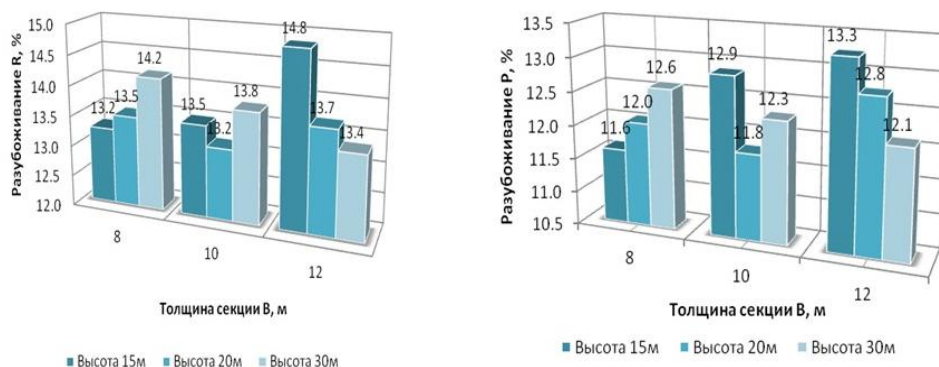


Рис. 4. Разубоживание руды в зависимости от ширины и высоты секции

Наилучшие показатели выпуска из трех точек были получены при соотношении толщины секции к ее высоте, равной 0,4. Извлечение чистой руды при этом достигло 65,6%, уровень потерь и разубоживания снизился до 7,6-7,8 и 11,6-11,8% соответственно. Выпуск руды характеризуется равномерным опусканием контакта «руда-порода». Повышение качества извлечения связано с уменьшением площади контакта руды с обрушенной породой, которая остается почти постоянной при выпуске до 70% рудной массы.

Для изучения влияния режима выпуска на показатели извлечения было произведено моделирование процесса выпуска руды при равномерно-последовательном режиме в вариантах одинаковыми дозами с торца доставочного штрека и двух погрузочных заездов и в соотношении 2:1:1, 3:1:1 и 1:2:2. Исследование осуществлялось при следующих конструктивных параметрах секции. Толщина секции принималась $B=10$ см, высота $H=20$ см. Наилучшие показатели извлечения достигнуты при выпуске руды одинаковыми дозами, что объясняется одинаковой площадью влияния выпускных выработок на выпуск секции, имеющей правильную форму параллелепипеда, и равномерным опусканием контакта «руда – порода» при выпуске до 70% рудной массы.

На рис. 5 приведены средние показатели извлечения чистой руды $Q_{ч}$, потерь P и разубоживания R при выпуске руды из одной, двух и трех выработок.

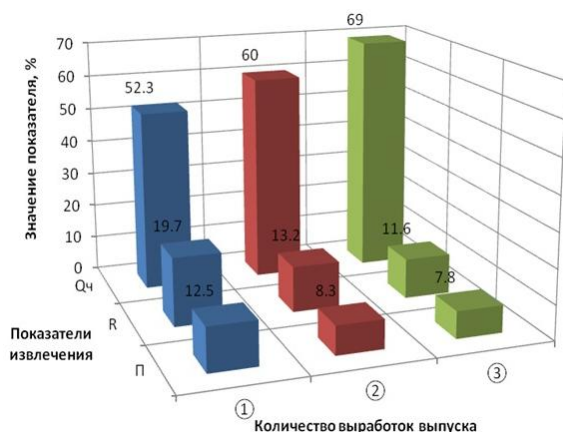


Рис. 5. Изменение качественных показателей выпуска руды в зависимости от количества точек выпуска

Установленная зависимость свидетельствует о том, что применение площадно-торцевой технологии выпуска руды под обрушенными породами приводит к повышению качества выпуска. В частности, извлечение чистой руды до начала качественного разубоживания при двух и трех точках выпуска увеличивается на 12-13 и 24-25% соответственно, разубоживание снижается на 32-34 и 39-41%, потери – на 31-33 и 36-38%.

Результаты проведенных исследований по моделированию выпуска рудной массы указывают на целесообразность применения системы разработки с обрушением и площадно-торцевым выпуском руды для условий отработки пологих залежей в качестве альтернативы камерной системы разработки с закладкой. При этом применение рациональных параметров системы разработки с обрушением и площадно-торцевым выпуском руды (высота секции принимается равной мощности залежи; толщина секции принимается в пределах 0,4-0,5 от высоты секции) и увеличение числа точек выпуска позволяет обеспечить извлечение чистой руды до 69%, снизить потери до 7,0-8,5%, разубоживание – до 12,0-13,5%.

Список литературы

1. Мещеряков Э.Ю., Мажитов А.М., Лутфуллин Р.Р. Совершенствование системы разработки с обрушением в условиях пологопадающих рудных залежей // Комплексное освоение месторождений полезных ископаемых: сб. науч. трудов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. С. 91-94.
2. Неверов С.А. Обоснование технологии подэтажного обрушения с площадно-торцевым выпуском руды в условиях мощных крутопадающих залежей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2006. 22 с.
3. Мещеряков Э.Ю., Угрюмов А.Н. Геомеханическое обоснование области применения систем разработки с обрушением руд и пород при освоении месторождения «Чебачье» // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. №3. С. 8-11.
4. Захаров В.В. Исследование механизма и параметров движения руды при выпуске из очистных блоков: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1966.
5. Витковский И.И. Область применения вариантов систем подэтажного обрушения с торцевым выпуском при разработке сложных рудных тел // Перспективы развития рудных месторождений: тез. докл. М., 1985. С. 13-14.
6. Кузнецов П.А. Определение масштаба моделирования. М., 1964.
7. Юров А.А. Обоснование параметров и порядка очистной выемки с учетом неравномерного распределения полезного компонента по мощности рудной залежи: дис. ... канд. техн. наук. М., 2005. 105 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

DEFINITION OF PARAMETERS AND INDICATORS ADAPTIVE VERSION OF THE SYSTEM DESIGN WITH AREA-BUTT RELEASE FOR THE CONDITIONS OF WORKING OFF FLAT DEPOSIT

Mazhitov A.M., Mescheryakov E.J.

Abstract. Carried out the researches of the basic regularities of the release of ore and substantiation of rational parameters and application areas of the system design with area-butt release of ore in relation to the flat deposits. Modeling of release of ore was made with account of design and technological features of application of area-butt technology of ore in conditions of shallow ore bodies. As a result of modeling are determined the parameters and indicators of the system of development with area-butt release of ore.

Keywords: Design system, area-butt release, the collapse of ores, modeling of release, equivalent materials, end production, losses, dilution.

References

1. Meshcheryakov E.Y., Mazhitov A.M., Lutfullin R.R. Sovershenstvovanie sistemy razrabotki s obrusheniem v usloviyakh pologopadajushhih rudnykh zalezhej. [Improvement of the system design with the collapse in gently sloping ore deposits]. *Kompleksnoe osvoenie mestorozhdenij poleznykh iskopaemykh*. [Integrated development of mineral deposits]. Magnitogorsk: Publ. Magnitogorsk State. Tech. University named after G.I. Nosov, 2012, pp. 91-94.
2. Neverov S.A. Obosnovanie tehnologii podjetazhnogo obrusheniya s ploshhadno-torcevym vypuskom rudy v usloviyakh moshhnykh

- krutopadajushhih zalezhej. Extended abstract of PhD dissertation. [Justification sublevel caving technology with area-butt release of ore in powerful steep deposits]. Novosibirsk, 2006, 22 p.
3. Mecsherykov E.Y., Ugryumov A.N. Geomechanicheskoe obosnovanie oblasti primeneniya sistem razrabotki s obrusheniem rud i porod pri osvoenii mestorozhdeniya «Chebach'e». [Geomechanical substantiation of a scope of systems of working out with a collapse of ores and breeds at development of deposits]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov], 2009, no.3, pp. 8-11.
 4. Zaharov V.V. *Issledovanie mehanizma i parametrov dvizheniya rudy pri vypuske iz ochistnykh blokov*. Extended abstract of PhD dissertation [Investigation of the mechanism and motion parameters of ore at release from treatment units]. Moscow, 1966.
 5. Witkowski I.I. Oblast' primeneniya variantov sistem podjetazhnogo obrusheniya s torcevyim vypuskom pri razrabotke slozhnykh rudnykh tel. [Field of application options sublevel caving systems with mechanical issue in the development of complex ore bodies]. *Perspektivy razvitiya rudnykh mestorozhdenij: tez. dokl.* [Prospects of ore deposits]. Moscow, 1985, pp. 13-14.
 6. Kuznetsov P.A. *Opreделение masshtaba modelirovaniya*. [Defining the scope of the simulation]. Moscow, 1964.
 7. Yurov A.A. *Obosnovanie parametrov i porjadka ochistnoy vyemki s uchetom neravnomernogo raspredeleniya poleznogo komponenta po moshhnosti rudnoj zalezhi*. Extended abstract of PhD dissertation. [Substantiation of the parameters and the procedure of the treatment of excavation with the account of the unequal distribution of the useful component for the power of the ore deposits]. Moscow, 2005, 105 p.

УДК 622.271.333:004.428.4

Мельников И.Т., Заляднов В.Ю., Шевцов Н.С., Павлова Е.В., Погорелов А.Ю., Смяткин А.Н.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ БОРТОВ КАРЬЕРОВ*

Аннотация. При проектировании карьеров, отвалов, хвостохранилищ всегда актуальной остается задача определения оптимальных параметров откосов этих горнотехнических сооружений, обеспечивающих экономичность и безопасность производства. Традиционный способ решения обозначенной задачи предполагает трудоемкий графоаналитический расчет, требующий от одного до нескольких дней работы. Сотрудниками кафедры открытой разработки месторождений полезных ископаемых МГТУ им. Г.И. Носова создана программа для ЭВМ, в которой нахождение минимального коэффициента запаса устойчивости производится путём подбора наименее устойчивой поверхности скольжения изучаемого массива в результате многократных расчетов в течение нескольких секунд. В работе представлены результаты расчета минимального коэффициента запаса устойчивости традиционным графоаналитическим методом и с помощью программы для ЭВМ на примере Сибайского карьера. Определена сходимость результатов, которая составляет 98-99%. С помощью представленной программы ЭВМ возможно решение широкого круга задач со значительной экономией времени. С использованием программы возможно решение прямой задачи – определение минимального коэффициента запаса устойчивости по заданным параметрам откоса и обратной задачи – нахождение высоты или угла откоса по заданному коэффициенту устойчивости, с учетом прочностных характеристик пород приоткосного массива. Разработанная программа позволяет определять параметры не только уступов и бортов карьеров, но и отвалов, дамб хвостохранилищ, железнодорожных и других насыпей с учетом характеристик пород основания, на котором формируется горнотехническое сооружение.

Ключевые слова: параметры откосов бортов карьеров, коэффициент запаса устойчивости, автоматизированный расчёт устойчивости, программа для ЭВМ.

При проектировании карьеров, отвалов, хвостохранилищ всегда актуальной остается задача определения оптимальных параметров откосов этих горнотехнических сооружений. С одной стороны, параметры откосов должны обеспечить экономичность производства, с другой – безопасность горных работ [1-4]. При оценке устойчивости откосов горнотехнических сооружений используют методику определения минимального коэффициента запаса устойчивости, равного отношению удерживающих сил к сдвигающим, которые возникают в приоткосном массиве [5, 6]. По нормативному значению коэффициента запаса устойчивости [5, 7], а также исходя из физико-механических свойств пород, слагающих массив, возможно нахождение оптимальной высоты или угла откоса горнотехнических сооружений. Традиционный способ решения обозначенной задачи предполагает трудоемкий графоаналитический расчет, требующий большого количества времени даже для получения ориентировочных данных. Сотрудниками кафедры открытой разработки месторождений полезных ископаемых МГТУ им. Г.И. Носова создана программа для ЭВМ, в которой нахождение минимального коэффициента запаса устойчивости производится пу-

тём подбора наименее устойчивой поверхности скольжения изучаемого массива в результате многократных расчетов в течение нескольких секунд. Для ускоренного поиска наиболее вероятной поверхности обрушения в программе «Автоматизированный расчёт параметров устойчивости откосов горнотехнических сооружений» реализуется «метод падающего шарика» [8, 9]. Данная программа апробирована в проектных и исследовательских работах, в том числе при выполнении научно-исследовательской работы по оценке общей устойчивости бортов Сибайского карьера при отработке законтурных запасов руды [10].

Программа позволяет произвести расчёт откоса изучаемого массива по введенным данным, получить отчет о проделанном расчёте, нарисовать эскиз откоса с вертикальной трещиной отрыва и наиболее вероятной линией скольжения. Также найти:

- коэффициент запаса устойчивости по заданным значениям высоты и угла откоса;
- угол откоса по заданным значениям коэффициента устойчивости и высоты откоса;
- высоту откоса по заданным значениям коэффициента устойчивости и угла откоса;
- высоту вертикальной трещины отрыва.

Диалоговое окно программы представлено на рис. 1.

* Программа стратегического развития МГТУ. Мероприятие 2.

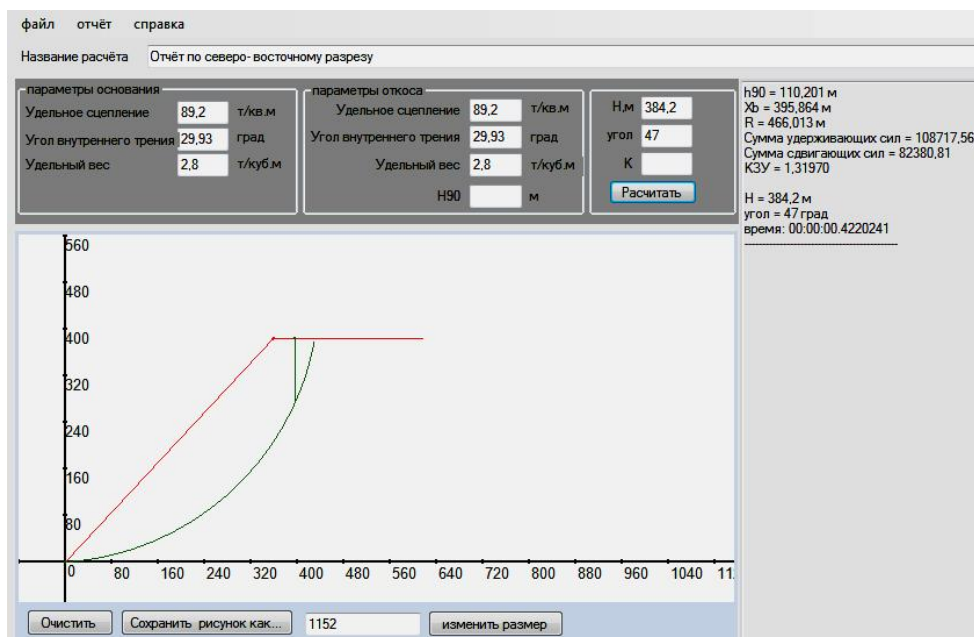


Рис. 1. Диалоговое окно программы «Автоматизированный расчёт параметров устойчивости откосов горнотехнических сооружений»

В левой нижней части интерфейса программы приводится графическое изображение откоса с наиболее вероятной линией скольжения, рассчитанной по исходным данным, которые вводятся в первые два столбца верхней части окна программы «параметры основания», «параметры откоса». Результаты расчета выводятся в столбец в правом верхнем углу интерфейса. По примеру рис. 1 видно, что при заданных физико-механических свойствах пород: удельное сцепление $89,2 \text{ т/м}^2$, угол внутреннего трения $29,93^\circ$, удельный вес породы $2,8 \text{ т/м}^3$, а также значений высоты откоса 384 м и среднего угла откоса борта 47° , данная программа производит расчёт и выдаёт значения:

1. Высота вертикальной трещины отрыва « h_{90} » ($110,2 \text{ м}$).
2. Сумма удерживающих сил ($108717,5$).
3. Сумма сдвигающих сил ($82380,8$).
4. Коэффициент запаса устойчивости борта «КЗУ» ($1,319$).

Значение h_{90} можно вводить реальное, если оно известно, а по умолчанию оно рассчитывается программой по классической методике.

Созданная программа предназначена для расчёта устойчивости откоса отвала или дамбы, формируемых на слабом или прочном основании, а также для расчета откоса борта карьера. При расчете отвала или дамбы программа учитывает, что массив откоса и основание могут быть сложены породами с разными физико-механическими свойствами. Таким образом, в окна программы «параметры основания», «параметры откоса» вносятся свойства пород, характеризующих соответственно основание и массив откоса.

Для расчета откоса борта карьера в программе значения свойств окна «параметры основания» принимаются идентичными значе-

ниям окна «параметры откоса», так программа производит расчет, учитывая, что откос и основание составляет один тип пород. При расчете откоса массива борта карьера, сложенного различными типами пород, их свойства предварительно должны быть усреднены.

При выполнении научно-исследовательской работы по оценке общей устойчивости бортов Сибайского карьера произведены графические и аналитические расчеты коэффициентов запаса устойчивости традиционным способом и в программе ЭВМ «Автоматизированный расчёт параметров устойчивости откосов горнотехнических сооружений». Расчеты производились по ряду разрезов, соответствующих наименее устойчивым участкам карьера (участки с подземной отработкой запасов). На разрезы был вынесен фактический контур борта карьера с учетом фактического положения участков выемки законтурных запасов и геологическое строение прибортового массива. Физико-механические свойства пород изучаемых участков бортов были усреднены. Сводные результаты усреднения физико-механических свойств пород в массиве, а также показатели для построения наиболее вероятной линии скольжения (НВЛС) в изучаемых откосах представлены в табл. 1.

Таблица 1

Данные для определения НВЛС

Наименование разреза (борта)	Сцепление в массиве $C, \text{ т/м}^2$	Объемный вес $\gamma, \text{ МН/м}^3$	Угол внутреннего трения $\varphi, \text{ град}$	Высота откоса борта $H, \text{ м}$	Вертикальная трещина отрыва $H_{90}, \text{ м}$	Средний угол наклона борта $\alpha, \text{ град}$
Центральный (Северный)	86.67	2.67	29.60	473	111.53	36.20
Центральный (Южный)	103.69	2.93	29.66	473	121.74	35.67
«Юго-Западный»	78.26	2.73	29.29	477.7	97.86	36.59

Пример масштабированного построения НВЛС в приоткосном массиве Северного борта (разрез Центральный), без использования программы с автоматизированным расчетом, представлен на рис. 2. Параметры, замеряемые по призме скольжения ограниченной НВЛС, а также расчет коэффициента запаса устойчивости приведены в табл. 2.

Параметры блоков в призме скольжения и расчет коэффициента запаса устойчивости северного борта (разрез Центральный)

Номер блока	b, м	h, м	γ , т/м ³	P, Н	β , град	F _{сдв}	N	ϕ , град	F _{тр}	C, т/м ³	l, м	F _{сц}
1	31,5	88,6	2,60	7258,95	56	6017,87	4059,2	30	2343,6	108,98	56,3	6138,84
2	70,2	131,5	2,60	23976,99	50	18367,21	15412,4	30	8898,2	108,98	108,7	11850,49
3	39,8	155,5	2,60	16091,14	44	11177,70	11575,1	30	6682,8	108,98	55,1	6004,80
4	78,3	172,2	2,60	35062,99	38	21586,62	27630,3	30	15952,0	108,98	99,4	10830,43
5	42,1	171,8	2,60	18812,93	32	9969,18	15954,4	30	9211,1	108,98	49,9	5433,74
6	59,4	150,0	2,60	23164,06	28	10874,70	20452,7	30	11808,2	108,98	67,3	7334,35
7	81,9	115,6	2,75	26006,98	22	9742,23	24113,3	30	13921,5	108,98	88,5	9641,46
8	28,1	96,9	3,77	10242,02	18	3164,91	9740,8	30	5623,7	51,40	29,5	1514,76
9	5,2	51,8	2,80	751,13	17	219,61	718,3	0	0,0	0,00	5,5	0,00
10	23,0	47,6	3,01	3286,20	15	850,52	3174,2	30	1832,6	51,40	23,8	1225,38
11	33,7	39,3	2,41	3197,40	13	719,25	3115,5	30	1798,7	51,40	34,7	1782,55
12	122,	23,6	2,00	57,82,69	7	704,72	5739,6	27	2924,4	1,00	123,4	123,43
						93394,52			80996,68			61880,23
Коэффициент запаса устойчивости (Кзу)									1,5298			

Условные обозначения для расчетной табл. 2:
b – ширина i-го блока в призме скольжения, м;
h – высота i-го блока в призме скольжения, м;
 γ – плотность пород, т/м³;
P – сила тяжести, Н;
 β – угол сдвига, град;
F_{сдв} – сила сдвига;
N – нормальная сила;
 ϕ – угол внутреннего трения пород, град;
F_{тр} – сила трения;
C – сцепление пород, МПа;
l – длина основания блока, м;
F_{сц} – сила сцепления.

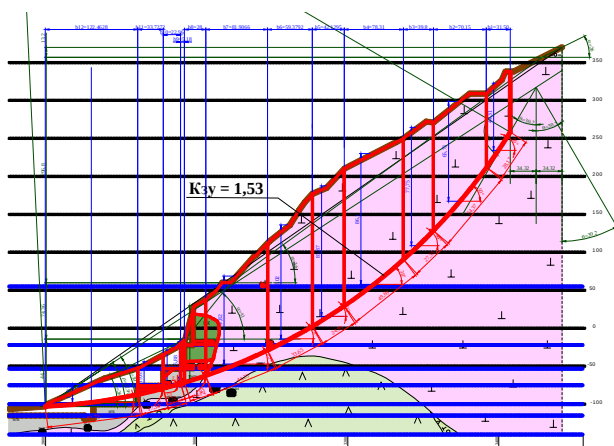


Рис. 2. Разрез Центральный (северный борт) Сибайского карьера с построением наиболее вероятной линии скольжения

Пример расчета в программе ЭВМ «Автоматизированный расчёт параметров устойчивости откосов горнотехнических сооружений» для северного борта показан на рис. 3.

Значения, полученные по программе «Автоматизированный расчет параметров устойчивости откосов горнотехнических сооружений», имеют точность совпадения 98-99% с расчетом, произведённым традиционным способом. В табл. 3 представлены значения коэффициентов запаса устойчивости, полученные без использования программы ЭВМ и с ее использованием.

В целом расчет общей устойчивости бортов Сибайского карьера показал, что борта карьера характеризуется достаточным запасом устойчивости – более 1,3 т.е. находятся в устойчивом состоянии.

Сопоставление результатов традиционного расчета и автоматизированного показывает сходимость результатов при значительной экономии времени.

Отчёт по северному разрезу

Параметры основания

Удельное сцепление = 86,67 т/кв.м
Угол внутреннего трения = 29,60 град
Удельный вес = 2,67 т/куб.м

Параметры откоса

Удельное сцепление = 86,67 т/кв.м
Угол внутреннего трения = 29,60 град
Удельный вес = 2,67 т/куб.м
H = 473,00 м
угол = 36,20 град

Сумма удерживающих сил = 207521,98

Сумма сдвигающих сил = 137162,26

КЗУ = 1,51297

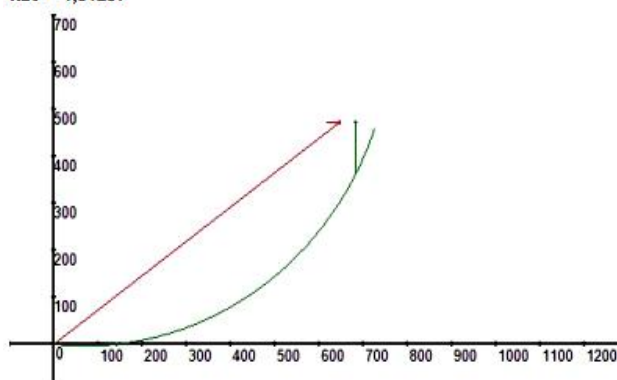


Рис. 3. Отчет программы ЭВМ по расчету коэффициента запаса устойчивости по северному борту карьера

Таблица 3

Значения коэффициентов запаса устойчивости

Борт карьера	Значение КЗУ	
	Без использования программы ЭВМ	С использованием программы ЭВМ
Разрез Центральный (северный борт)	1,53	1,51
Разрез Центральный (южный борт)	1,58	1,56
Разрез Юго-Западный	1,38	1,36

Выводы:

1. Использование разработанной программы для автоматизированного расчета устойчивости откосов горнотехнических сооружений позволяет снизить затраты времени на проведение инженерных расчетов с 1-2 дней до нескольких минут на одну задачу.

2. С использованием программы возможно решение прямой задачи – определение минимального коэффициента запаса устойчивости по заданным параметрам откоса и обратной задачи – нахождение высоты или угла откоса по заданному коэффициенту устойчивости, с учетом прочностных характеристик пород приоткосного массива.

3. Разработанная программа позволяет определять параметры не только уступов и бортов карьеров, но и отвалов, дамб хвостохранилищ, железнодорожных и других насыпей с учетом характеристик пород основания, на котором формируется горнотехническое сооружение.

4. Программа для автоматизированного расчета устойчивости откосов горнотехнических сооружений рекомендуется к использованию проектными органи-

зациями, исследовательскими группами, проектно-техническими отделами строительных и горных предприятий, а также к применению в учебном процессе при изучении дисциплин горных и строительных специальностей.

Список литературы

1. Гавришев С.Е. Организационно-технологические методы повышения надежности и эффективности работы карьеров: монография. Магнитогорск: МГТУ, 2002. 231 с.
2. Осинцев Н.А. Безопасность транспортно-технологических процессов открытых горных работ: монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. 115 с.
3. Бурмистров К.В., Колонюк А.А., Заляднов В.Ю. Повышение эффективности разработки месторождений путем комплексного подхода к проектированию открытых и подземных горных работ // Комбинированная геотехнология: масштабы и перспективы применения: сб. тез. междунар. науч.-техн. конф. Магнитогорск: Учалы, 2005. С. 38.
4. Гавришев С.Е., Бурмистров К.В., Кидяев В.А. Использование преимуществ карьерного комбинированного транспорта при открыто-подземной разработке месторождений // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. №3. С. 5-7.
5. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. Л.: ВНИИМ, 1972. 165 с.
6. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. М.: Недра, 1965. 378 с.
7. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах: утв. Госгортехнадзором РФ 16.03.98. СПб.: ВНИИМ, 1998. 208 с.
8. Мельников И.Т., Суров А.И., Заляднов В.Ю. и др. Автоматизированный расчет параметров устойчивости откосов горнотехнических сооружений. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2011613970 от 23.05.2011 г.
9. Мельников И.Т., Кутлубаев И.М., Суров А.И., Мельников И.И., Васильев К.П., Плотноков Д.П., Шевцов Н.С. Разработка методики определения рациональных параметров намывных хвостохранилищ и отвалов вскрыши // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. №1. С. 9-13.
10. Гавришев С.Е., Калмыков В.Н. Бурмистров К.В., Заляднов В.Ю., Павлова Е.В. и др. Оценка устойчивости бортов Сибайского карьера при отработке законтурных запасов руды: отчет о НИР. Магнитогорск, 2013.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

AUTOMATED CALCULATION OF SLOPE STABILITY OF PIT WALLS

Melnikov I.T., Zalyadnov V.Y., Shevtsov N.S., Pavlova E.V., Pogorelov A.Y., Smyatkin A.N.

Abstract. When designing the pits, dumps, tailings have always topical task determine the optimum parameters of the slopes of mining structures, providing efficiency and safety. The traditional way to solve the specified problem involves time-consuming graphic-analytical calculation, which requires one to several days of works. Employees of the department «Open working exploitation of mineral» Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov created computer program, in which the finding of the minimum safety factor is produced by choosing the least stable sliding surface array studied by multiple calculations in a few seconds. The results of calculation of the minimum safety factor graphoanalytical traditional method and with the help of a computer program as an example Sibai open pit. Defined convergence of results, which is 98-99%. With the help of the provided computer program can solve a wide range of applications with significant time savings. Using the program is possible to solve the direct problem - determination of the minimum safety factor by the given parameters of the slope and the inverse problem - finding the height or angle of repose for a given coefficient of stability, given the strength characteristics of the rock. Program makes it possible not only to determine the parameters of benches and pit, but dumps, tailings dams, railway embankments and other breeds with the characteristics of the base, which is formed by the construction of mining.

Keywords: parameters pit board, the safety factor, the automated calculation of stability, the computer program

References

1. Gavishev S.E. *Organizacionno-tehnologicheskie metody povysheniya nadezhnosti i jeffektivnosti raboty karerov: monografija*. [Open mining enterprises reliability and efficiency organizational and technological methods]. Magnitogorsk: Magnitogorsk State. Tech. University named after G.I. Nosov, 2002, 245 p.

2. Osintsev N.A. *Bezopasnost' transportno-tehnologicheskikh processov otkrytykh gornyh rabot*. [Transport and technological processes of open mining operations safety]. Magnitogorsk: Magnitogorsk State. Tech. University named after G.I. Nosov, 2010, 115 p.
3. Burmistrov K.V., Koloniuk A.A., Zalyadnov V.Y. *Povyshenie jeffektivnosti razrabotki mestorozhdenij putem kompleksnogo podhoda k proektirovaniyu otkrytykh i podzemnykh gornyh rabot*. [Improving the efficiency of field development through an integrated approach to the design of open pit and underground mining operations]. *Kombinirovannaja geotehnologija: masshtaby i perspektivy primeneniya*. [Combined geotechnology: scope and perspectives of]. Magnitogorsk: Uchaly, 2005. p. 38.
4. Gavishev S.E., Burmistrov K.V., Kidyev V.A. *Ispol'zovanie preimushestv karernogo kombinirovannogo transporta pri otkryto-podzemnoj razrabotke mestorozhdenij*. [Take advantage of career combined transport in open and underground mining]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov], 2010, no. 3, pp. 5-7.
5. Guidance on the determination of the angles of ramps, slopes and ledges dumps built and operated quarries. Leningrad: VNIIM, 1972, 165 p.
6. Fisenko G.L. *Ustojchivost' bortov karerov i otvalov*. [Stability of pit walls and waste dumps]. Moscow: Nedra, 1965, 378 p.
7. Rules on the stability of slopes in the coal mines: approved. RF Gosgortekhnadzor 16/03/98. St.-Petersburg: VNIIM, 1998. 208.
8. Melnikov I.T., Surov A.I., Zalyadnov V.Y. and other. *Avtomatizirovannyj raschjot parametrov ustojchivosti otkosov gornotekhnicheskikh sooruzhenij*. [Automated calculation of slope stability parameters of mining facilities]. Certificate of state registration of computer programs № 2011613970 from 23.05.2011].

9. Melnikov I.T., Kutlubayev I.M., Surov A.I., Melnikov I.I., Vasiliev K.P., Plotnikov D.P., Shevtsov N.S. Razrabotka metodiki opredeleniya racional'nykh parametrov namyvnykh hvostohranilishh i otvalov vskryshi. [Development of methods for determining the rational parameters of reclaimed tailings and overburden dumps]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov], 2011, no.1. pp. 9-13.
10. Gavrishchev S.E., Kalmykov V.N., Burmistrov K.V., Zalyadnov V.Y., Pavlova E.V. and etc. *Ocenka ustojchivosti bortov Sibajskogo kar'era pri otrabotke zakonturnykh zapasov rudy*. [Evaluation of stability sides Sibai career at working aquifer ore reserve]. Magnitogorsk, 2013.

УДК 622.621.225.5.001.2

Вагин В.С., Курочкин А.И.

ДЕМПФИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПЕРЕДВИЖНЫХ ПРОХОДЧЕСКИХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК С БЕЗРЕДУКТОРНЫМ ВЫСОКОМОМЕНТНЫМ ГИДРОПРИВОДОМ

Аннотация. В статье изложены результаты оценки демпфирующих свойств безредукторного высокомоментного гидропривода передвижных проходческих подъемных установок.

Улучшение технико-экономических показателей работы передвижных проходческих подъемных установок возможно по линии увеличения их производительности, снижения их массивности и увеличения долговечности тяговых органов и ряда узлов и деталей подъемных машин. Однако увеличение производительности, в свою очередь, вызывает необходимость увеличения концевой нагрузки на тяговые органы, что вызывает значительное увеличение динамических нагрузок в упругих элементах в переходных режимах работы подъемной установки.

Одним из способов снижения постоянно действующих динамических нагрузок колебательного характера является применение безредукторного гидравлического привода, обладающего демпфирующими свойствами. Но, тем не менее, возможности гидропривода при больших амплитудах колебаний динамических усилий ограничены.

Увеличить демпфирующие свойства гидропривода можно за счет увеличения коэффициента относительного демпфирования путем введения гибкой обратной связи по динамическому давлению. Коррекция по динамическому давлению действует кратковременно только в переходных режимах и не снижает энергетических параметров гидропривода, но позволяет изменять амплитуды динамических усилий в задаваемых пределах.

Ключевые слова: проходческая подъемная установка, безредукторный гидравлический привод, коэффициент относительного демпфирования.

Интенсификация работы современных проходческих подъемных установок приводит к возрастанию динамических нагрузок. Формирование динамических усилий в узлах машины зависит не только от величины и характера нагрузки, но и параметров привода и всей системы в целом.

В связи с увеличением глубины проходки стволов и одновременным снижением габаритов и моментов инерции вращающихся частей передвижной проходческой подъемной установки, переменная составляющая динамических усилий, возникающая из-за упругих свойств элементов конструкции машины и тяговых органов каната или стальной ленты, стали оказывать значительное влияние на величину колебаний усилий и скорости во время разгона, замедления и предохранительного торможения. В настоящее время уже невозможно правильно выполнять расчет основных параметров движения проходческого подъема и настройку режимов его работы без учета упругих свойств конструктивных элементов машины.

Опыт эксплуатации современных передвижных проходческих подъемных установок с электромеханическим асинхронным приводом установлена их недостаточная надежность и долговечность из-за их высоких динамических нагрузок при работе.

Условия работы передвижных проходческих подъемных установок существенно отличаются от условий работы стационарных подъемных установок

в силу небольших габаритов машин и расположения их приводов на отдельных от подъемной машины рамах. Эти подъемные установки характеризуются малыми массами вращающихся частей и, вместе с тем, имеют большие концевые нагрузки.

Одним из способов повышения надежности и долговечности передвижных проходческих подъемных установок является снижение постоянно действующих динамических нагрузок за счет совершенствования конструктивных и динамических параметров подъемных машин и путем применения более совершенных безредукторных гидравлических приводов [1], обладающих упругими и демпфирующими свойствами.

Во время запуска и остановки системы подъема часто возникают в проходческой подъемной установке нагрузки, превышающие нагрузки во время рабочего процесса установившегося движения при подъеме расчетного груза.

При пуске двигателя под нагрузкой, чем больше приведенная масса подъемной машины и пусковой момент двигателя, тем больше динамические усилия в упругих элементах подъемной установки при запуске системы.

Процесс запуска под полной нагрузкой обычно не опасен для механических деталей подъемной установки, но весьма неблагоприятен для привода подъемной машины, так как при больших силах сопротивления может увеличиться продолжительность запуска

или возможно значительное повышение давления в гидросистеме.

Для снижения забросов давления и снижения динамических нагрузок на упругие элементы подъемной системы несомненный интерес вызывают способы повышения демпфирующих свойств гидропривода и, в частности, самого безредукторного высокомоментного гидропривода.

Наиболее эффективным способом снижения динамических нагрузок является демпфирование динамических систем, основанный на введении специальных устройств, обеспечивающих перетечку жидкости из одной полости исполнительного механизма в другую.

Однако следует заметить, что искусственное введение значительных перетечек жидкости снижает крутизну нагрузочной характеристики подъемного гидродвигателя. Это может повлечь за собой уменьшение КПД гидропривода, поэтому было бы более рациональным осуществлять стабилизацию гидравлической системы введение гибких обратных связей, действие которых пропорционально перепаду давлений между полостями гидродвигателя. Принимаемый вид демпфирования тождественен введению обратной связи по нагрузке, преодолеваемой гидродвигателем.

Этот способ для снижения динамических нагрузок в упругих элементах передвижной проходческой подъемной установки может быть применен в безредукторном высокомоментном гидравлическом приводе, показанном на **рис. 1**.

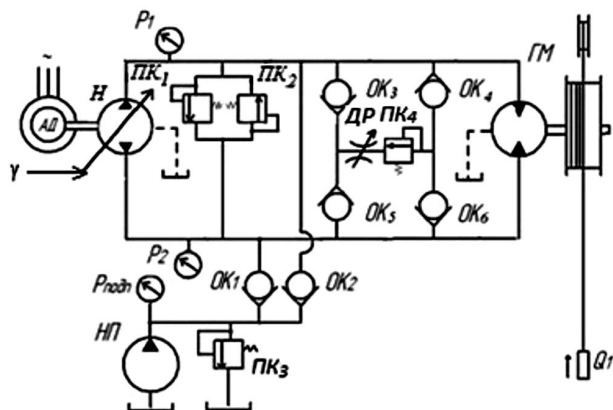


Рис. 1. Схема подъемной установки с безредукторным гидравлическим приводом

В схеме гидропривода между входной и выходной полостями гидродвигателя введен канал перетечек, включающий четыре обратных клапана ОК₃, ОК₄, ОК₅, ОК₆, подпорный клапан ПК₄ и регулируемый дроссель ДР.

Коррекция динамическими перетечками в гидродвигателе представляет гидравлическую обратную связь по динамическому давлению, охватывающую только гидродвигатель. Она реализуется шунтированием полостей гидродвигателя корректирующим устройством, изменяющим межполостные перетечки в динамических режимах. Под действием установившегося перепада давлений в гидродвигателе перетечек жидкости не происходит, а при изменении заданного перепада давления жидкость перетекает в по-

лость с убывающим низким давлением. Такой способ коррекции не требует суммирующих устройств и конструктивных доработок корректирующих устройств.

Утечки из гидромотора оказывают значительное влияние на коэффициент демпфирования, причем при росте утечек коэффициент демпфирования увеличивается. Поэтому, с точки зрения улучшения динамических свойств системы, целесообразно увеличивать объемные потери гидромотора. Однако обычно при конструировании гидромотора стремятся к снижению объемных потерь, с тем чтобы улучшить энергетические показатели привода. По общему мнению конструкторов и эксплуатационников гидравлических машин, такое направление является правильным, поскольку обычно гидромотор разрабатывается для большой гаммы машин различного назначения зачастую с противоречивыми требованиями к приводе. Поэтому следует выполнять гидромотор с минимальными, технически целесообразными потерями жидкости, с тем чтобы в случае необходимости для улучшения динамики системы или других целей можно было бы искусственно увеличить объемные потери гидропривода.

Таким образом, для улучшения динамических свойств гидроприводов подъемных установок с большой конечной нагрузкой на тяговый орган необходимо увеличивать коэффициент относительного демпфирования ξ . Это может быть достигнуто с помощью межполостных перетечек по динамическому давлению в гидродвигателе.

Коэффициент относительного демпфирования ξ определяется [2] по выражению

$$\xi_K = \frac{1}{2} \left[\frac{\sqrt{J C_r}}{F \sqrt{1+f}} + \frac{f}{\sqrt{J C_r (1+f)}} \right], \quad (1)$$

где J – полный приведенный к валу гидромотора момент инерции вращающихся и поступательно движущихся частей проходческой подъемной установки;

$$J = \sum J_1 + J_{ГМ} + \frac{G}{g} \sum V_{П}^2, \quad (2)$$

$\sum J_1$ – суммарный момент инерции механической системы элементов проходческого подъема, движущихся вращательно и поступательно;

$$J_1 = J_{\delta} + J_{шт} + J_K + J_Q, \quad (3)$$

J_{δ} – момент инерции органа навивки; $J_{шт}$ – момент инерции шкива; J_K – момент инерции каната; J_Q – момент инерции конечной нагрузки; $J_{ГМ}$ – момент инерции вращающихся частей гидромотора; G – вес поршневой группы гидромотора; g – ускорение земного притяжения; $\sum V_{П}^2$ – сумма приведенных скоростей поршней гидромотора; $C_r = E q_r^2 / V$ – коэффициент жесткости «гидравлической пружины» гидромотора; $E = E_{ж} / (1 + E_{ж} d / \delta E_T)$ – приведенный модуль упругости жидкости и трубопроводов; $E_{ж}$ – модуль упругости рабочей жидкости; d и δ – диаметр и толщина стенки трубопровода; E_T – модуль упругости

материала трубопровода. q_r – удельный объем гидромотора ($q_M/2\pi$); q_M – объемная постоянная гидромотора; V – объем жидкости в напорном трубопроводе; f – коэффициент вязкого трения гидромотора.

F – коэффициент жесткости механической характеристики гидропривода, определяемый по выражению

$$F = q_r^2 / (r_H + r_M + r_0), \quad (4)$$

где r_H , r_M – коэффициенты объемных потерь в насосе и гидромоторе; r_0 – коэффициент, учитывающий влияние скольжения приводящего электродвигателя на производительность насоса, который определяется [2] по выражению

$$r_0 = \frac{60K_H\gamma^2}{2\pi n_0^2} \left| \frac{dn_H}{dM_H} \right|, \quad (5)$$

$K_H = Q_H/\gamma$ – коэффициент усиления регулируемого насоса; Q_H – подача насоса; γ – угол поворота управляющего устройства насоса; n_0 – синхронная частота вращения асинхронного двигателя насоса; n_H – частота вращения электродвигателя; M_H – момент на валу насоса; r_D – коэффициент демпфирующих перетечек гибкой обратной связи гидромотора по динамическому давлению.

Уравнение (4) коэффициента жесткости механической характеристики гидропривода не учитывает вводимую гибкую обратную связь гидропривода, осуществляемую перетечками гидродвигателя.

Вводя в уравнение (4) коэффициент демпфирующих перетечек r_D , получим следующее выражение коэффициента жесткости механической характеристики гидропривода:

$$F = q_r^2 / (r_H + r_M + r_0 + r_D). \quad (6)$$

Уравнение коэффициента демпфирующих перетечек в функции давления гибкой обратной связи гидромотора по динамическому давлению имеет следующий вид:

$$r_D = \frac{dQ_{DP}}{dP_{max}} = \begin{cases} \frac{G_{DP} \sqrt{P_{max} - P_{cl}}}{P_{max}}, & \text{при } P_{max} > P_{ПК4}, \\ 0, & \text{при } P_{max} \leq P_{ПК4}, \end{cases} \quad (7)$$

где $Q_{DP} = G_{DP} \sqrt{P_{max} - P_{cl}}$ – расход жидкости через

дроссель; $G_{DP} = \mu A_{DP} \sqrt{\frac{2}{\rho}}$ – гидравлическая проводимость дросселя ДР (см. рис. 1); μ и A_{DP} – коэффициент расхода и площадь сечения дросселя; ρ – плотность

рабочей жидкости; $P_{max} = M/k_M$ – максимальное давление в напорной линии гидромотора; M и k_M – максимальный момент и коэффициент момента гидромотора; P_{cl} – давление в сливной гидролинии; $P_{ПК4}$ – давление подпорного клапана демпфирующего устройства.

Формула (1) наглядно показывает, что увеличение вязкого трения, перетечек жидкости в гидродвигателе

и искусственного увеличения потерь жидкости путем шунтирования гидромотора в динамических режимах (7) за счет гибкой обратной связи по динамическому давлению, обуславливая рассеяние энергии, способствует увеличению коэффициента относительного демпфирования гидропривода и увеличивает демпфирующие свойства гидропривода.

Аналитические исследования [3] динамики одноконцевого проходческого подъема, оснащенного передвижной проходческой подъемной машиной МПП-4 с безредукторным гидравлическим приводом, показывает, что переходный процесс подъема расчетного груза при разгоне подъемной установки носит явно выраженный колебательный характер с относительно высокими значениями амплитуд динамических нагрузок. Влияние коэффициента относительного демпфирования на динамические нагрузки можно проследить по полученным зависимостям (рис. 2-4).

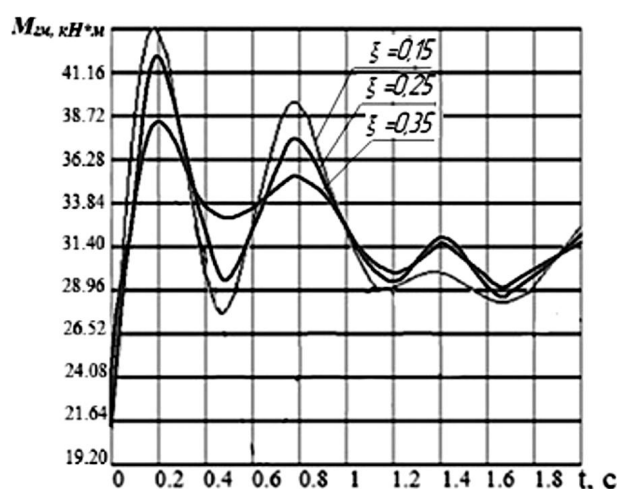


Рис. 2. Изменение момента гидромотора для различных значений коэффициента относительного демпфирования

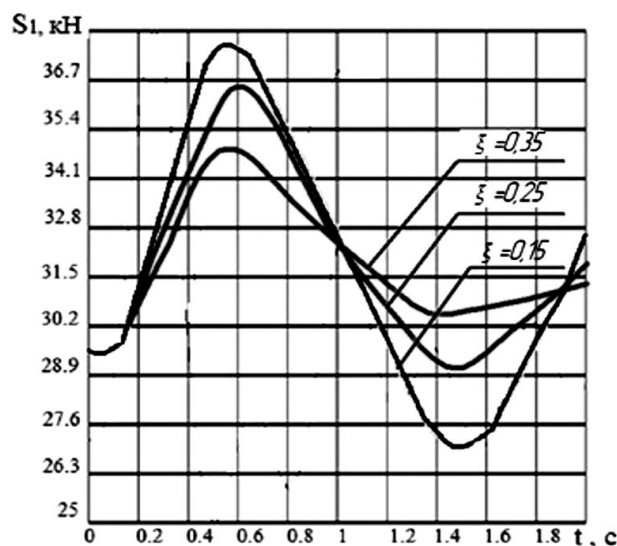


Рис. 3. Влияние коэффициента относительного демпфирования на величину натяжения тягового каната при подъеме расчетного груза

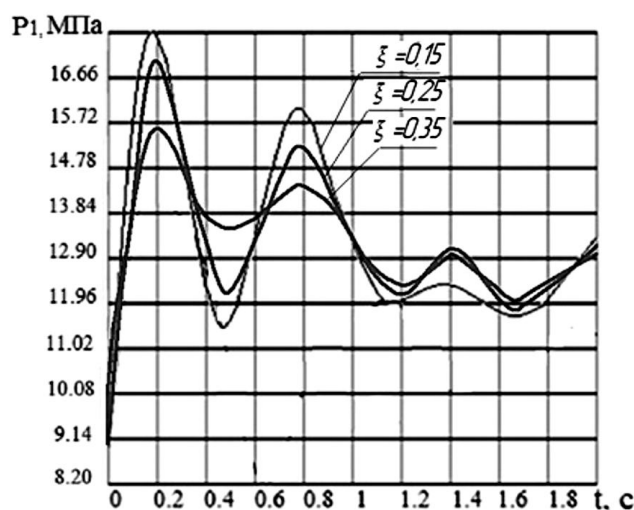


Рис. 4. Влияние коэффициента относительного демпфирования на максимальное значение давления в гидросистеме безредукторного гидропривода подъемной установки

Анализ полученных зависимостей свидетельствует о том, что при увеличении значения коэффициента относительного демпфирования (1) можно добиться значительного снижения динамических нагрузок на элементы подъемной установки, что в конечном итоге повлияет на увеличение производительности проходческого подъема [4].

Следовательно, изменением величины открытия дросселя DP (см. рис. 1) можно регулировать в значи-

тельных пределах коэффициент относительного демпфирования, что обеспечивает хорошие динамические и эксплуатационные характеристики передвижных проходческих подъемных установок с безредукторным гидравлическим приводом.

Улучшение динамических свойств передвижных проходческих подъемных установок с большой массой нагрузки на тяговый орган можно получить с помощью гибких обратных связей по динамическому давлению безредукторного гидравлического привода. Такой вид коррекции тождественен введению гибкой обратной связи по нагрузке, преодолеваемой гидродвигателем проходческого подъема.

Таким образом, дальнейшее совершенствование передвижных проходческих подъемных установок с безредукторных гидравлическим приводом неразрывно связано с разработкой методов динамического анализа и синтеза приводов, обеспечивающих минимизацию динамических нагрузок в проходческом подъеме.

Список литературы

1. Вагин В.С. Сравнительный анализ динамики передвижных проходческих подъемных установок с асинхронным редукторным и безредукторным гидравлическим приводом // Перспективы развития горно-транспортного оборудования: сб. статей. 2012. №ОБ 2. С. 63-67.
2. Гамынин Н.С. Гидравлический привод систем управления. М.: Машиностроение, 1973. 260 с.
3. Вагин В.С., Курочкин А.И. Динамика одноконцевого проходческого подъема // Горный информ.-аналит. бюл. 2012. №9. С. 232-238.
4. Вагин В.С. Технико-экономическая эффективность применения передвижных проходческих подъемных установок с безредукторным гидравлическим приводом при проходке вертикальных стволов строящихся шахт // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2012. №1. С.10-12.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

ALIGNMENT OF DYNAMIC LOADINGS MOBILE PASS ELEVATING INSTALLATIONS WITH UNREDUCER HIGH MOMENT A HYDRODRIVE

Vagin V.S., Kurochkin A.I.

Abstract. In article results of an estimation alignment properties un reducer high moment a hydrodrive mobile pass elevating installations are stated.

Improvement of technical and economic indicators of work mobile pass elevating installations probably in the area of increase in their productivity, decrease in their massiveness and increase in durability of traction bodies and of some knots and details of hoist engines. However the productivity increase, in turn, causes of increase in trailer loading at traction bodies that causes substantial growth of dynamic loadings in elastic elements in transitive operating modes of elevating installation.

One of ways of the decrease, constantly operating dynamic loadings of oscillatory character is application un reducer a hydraulic drive possessing alignment properties. But, nevertheless, hydrodrive possibilities at the big amplitudes of fluctuations of dynamic efforts are limited.

To increase alignment properties of a hydrodrive it is possible to carry out at the expense of increase in factor relative alignment, by introduction of flexible feedback on dynamic pressure. Correction on dynamic pressure operates quickly only in transitive modes and does not reduce power parameters of a hydrodrive, but allows to change amplitudes of dynamic efforts in set limits.

Keywords: pass elevating installation, un reducer a hydraulic drive, factor relative alignment.

References

1. Vagin V.S. Sravnitel'nyj analiz dinamiki peredvizhnyh prohodcheskih pod'emnyh ustanovok s asinhronnym reduktornym i bezreduktornym gidravlicheskim privodom. [The comparative analysis of dynamics mobile pass elevating installations with asynchronous reducer and un reducer a hydraulic drive]. *Perspektivy razvitiya gorno-transportnogo oborudovaniya*. [Prospects of development of the mining-transport equipment: collection of articles]. 2012, no.OV2, pp. 63-67.
2. Gamynin N.S. *Gidravlicheskiy privod sistem upravleniya*. [A hydraulic drive of control systems]. Moscow: Mechanical engineering, 1973. 260 p.
3. Vagin V.S., Kurochkin A.I. Dinamika odnokoncevogo prohodcheskogo pod'ema. [Dynamics one-trailer pass lifting]. *Gornyy informacionno-analiticheskij. bulletin*. [Mining informational and analytical bulletin], 2012, no.9, pp. 232-238.
4. Vagin V.S. Tehniko-ekonomicheskaja jeffektivnost' primeneniya peredvizhnyh prohodcheskih pod'emnyh ustanovok s bezreduktornym gidravlicheskim privodom pri prohodke vertikal'nyh stvolov strojashihsha shaht. [Technical and economic efficiency of application mobile pass elevating installations with un reducer a hydraulic drive, at pass vertical trunks of under construction mines]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov], 2012. no.1, pp. 10-12.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБМЕНА КОНТЕЙНЕРОВ НА ПОДЪЕМНЫХ ПУНКТАХ

Аннотация. Рост глубины карьеров приводит к увеличению пробега автосамосвалов, при этом нарушается экологическая обстановка и увеличивается себестоимость транспортирования. В статье приводится обоснование необходимости внедрения на открытых горных работах контейнерной технологии. Для осуществления данной технологии предлагается использовать в качестве подъемной машины шагающий экскаватор ЭШ-10/70. Производится разработка технологических схем обмена конвейеров на перегрузочном пункте.

Ключевые слова: контейнер, подъемная машина, шагающий экскаватор, технология открытых горных работ, схема обмена, перегрузочный пункт.

Выполненный анализ существующих технологий открытых горных работ и современного состояния горного производства указывает на насущную потребность в разработке новой ресурсосберегающей и экологически безопасной технологии. Нами была предложена новая контейнерная технология транспортировки горной массы в контейнерах без строительства в карьере технологических и транспортных коммуникаций [1, 2]. По основной технологической схеме карьерные подъемные машины установлены на площадках борта карьера для подъема контейнеров с нижних уступов на верхние. На промежуточных площадках выполняют перецепку груженых и порожних контейнеров.

Предлагаемая контейнерная технология позволяет повысить показатели открытых горных работ по экономии энергоресурсов и сохранению окружающей среды на качественно новый уровень. Снижение расхода энергии и разрушительного воздействия открытых горных работ на окружающую среду происходит за счет использования на всех этапах доставки горной массы оптимальных видов транспорта, а также за счет выполнения перегрузочных операций с высокой производительностью без дополнительной экскавации горной массы.

В технологической цепи подъема контейнеров по борту карьера и доставки их к пунктам выгрузки горной массы имеются участки перемещения контейнеров на небольшие расстояния по горизонтальным трассам. Они возникают по условиям безопасности работы смежных подъемных машин, работающих в цепочке, расстояние между ними должно быть больше удвоенного радиуса поворота их стрел. Для выполнения этого условия при передаче контейнеров от одной машины к другой предлагается перемещать их (контейнеры) между точками захвата и отцепления на передвижных платформах.

Порожний контейнер может заполняться горной массой непосредственно на платформе с эстакады путем выгрузки из кузова автосамосвала. При этом наличие передвижной платформы обеспечит независимость и безопасность работы автосамосвала и подъемной машины.

Аналогичная схема может применяться при доставке груженых контейнеров контейнеровозами (в соответствии с рис. 1). В этом случае передвижная

платформа позволяет безопасно выполнять обмен контейнеров контейнеровозом и подъемной машиной.

Платформы – самоходные, с электродвигателями и токосъемниками, управление передвижением платформ на каждом участке установки контейнеров подъемными машинами с помощью регулятора электрического напряжения с удлинённым рычагом.

Согласно известным исследованиям, именно железнодорожный транспорт может обеспечить минимальную энергоёмкость и транспортные издержки при доставке по горизонтальным участкам.

В простейшем варианте передвижной платформы ее перемещение может осуществляться с помощью тяговой реверсивной лебедки. Управление лебедкой может выполняться оператором карьерной подъемной машины.

При количестве платформ более двух в одном комплексе целесообразно использовать самоходные платформы. В этом случае могут быть два варианта привода платформ. Традиционный вариант – подача энергии по контактной линии на электродвигатель, установленный на платформе. Второй вариант – линейный электродвигатель, установленный на железнодорожном пути, движение платформы происходит за счет переменного электромагнитного поля по типу известных конвейерных поездов с электромагнитным приводом.

Контейнеры в пунктах захвата и отцепления устанавливают на передвижные платформы и передвижением платформ с контейнерами на площадках перецепки управляют из подъемной машины. Платформы имеют железнодорожный ход. Передвижение платформ с контейнером выполняют с помощью лебедки и тягового каната или с помощью электродвигателя, размещенного на платформе и питающегося через токосъемник от контактной линии. При малой длине стрелы подъемной машины включение и выключение приводного механизма передвижной платформы выполняют с пульта подъемной машины по электрическому кабелю. Изменение направления движения платформы осуществляют реверсом тяговой лебедки, имеющей возвратный канат и дополнительный блок.

При большой длине стрелы подъемной машины и большом расстоянии от нее до площадки перецепки контейнеров включение и выключение приводного

механизма передвижной платформы выполняют путем нажатия грузозахватным устройством подъемной машины на рычаг выключателя привода механизма передвижения платформ. Выключатель привода механизма передвижения платформ размещают в зоне действия грузозахватного устройства подъемной машины и снабжают удлиненным рычагом. В качестве выключателя привода механизма передвижения платформ можно использовать регулятор электрического напряжения или тока в контактной линии, которым для остановки платформ снижают электрическое напряжение или ток до значения, недостаточного для привода ее ходового электродвигателя.

Для повышения производительности и независимости в работе смежных подъемных машин на борту карьера участки железнодорожного пути укладывают на площадке перецепки контейнеров параллельно друг другу и соединяют на флангах стрелочными переводами с тупиками для изменения направления движения платформ. Тупиковые пункты изменения направления движения и автоматические стрелочные переводы обеспечивают поточное движение платформ к участкам установки и снятия контейнеров подъемными машинами, причем перевод стрелок выполняется после захода платформ в тупик, а реверс электродвигателя платформы выполняется изменением

полярности электрического тока в контактной линии. Управление переводом железнодорожных стрелок заблокировано с движением платформ с контейнерами на смежных блок-участках. Контактная линия разделена на блок-участки с отдельной подачей напряжения. Линия подачи электрического напряжения каждого блок-участка снабжена реле-регулятором, который при прохождении электрического тока по данному блок-участку автоматически снижает напряжение или ток на предыдущем по ходу движения платформ блок-участке до значения, недостаточного для привода ходового электродвигателя платформы. Это необходимо для предотвращения столкновения и соударения платформ. Факт движения платформ с контейнером по блок-участку или ее нахождения на блок-участке в заторможенном состоянии определяется фактом прохождения электрического тока в электролинии, питающей данный блок-участок. Блок-участки, на которых выполняется установка и снятие контейнеров с платформ, управляются из кабины машиниста подъемной машины.

При малой длине стрелы и небольшом расстоянии это может выполняться при помощи кабеля, соединяющего подъемную машину и регулятор электропитания контактной линии. При большой длине стрелы подъемной машины и большом расстоянии от нее до площадки перецепки контейнеров управление режимом электропитания контактной линии может выполняться нажатием на рычаг регулятора напряжения или тока в кон-

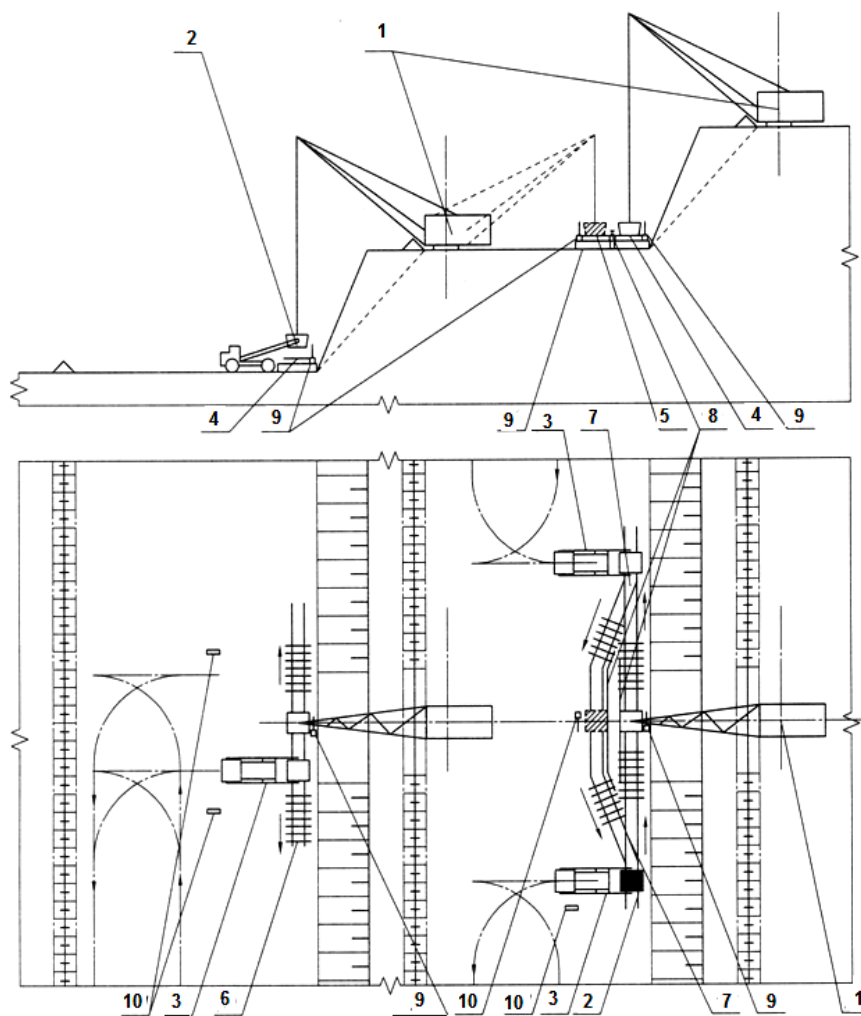


Рис. 1. Схема с возвратно-поступательным перемещением платформ на нижнем горизонте и кольцевым движением платформ на площадке перецепки контейнеров с тупиками и стрелочными переводами на фланговых участках железнодорожной трассы: 1 – подъемная машина; 2 – контейнер; 3 – погрузчик контейнеров (стреловой, ричстакер); 4 – передвижная платформа на железнодорожном ходу; 5 – лебедка управления платформой; 6 – железнодорожный путь; 7 – стрелочный перевод; 8 – блок-участок контактной линии; 9 – регулятор электрического напряжения или тока в контактной линии (с удлиненным рычагом); 10 – блок дистанционного управления передвижением платформ

тактной линии грузозахватным устройством подъемной машины. Регулятор размещают в зоне работы грузозахватного устройства и снабжают удлиненным рычагом.

В нижней зоне карьера целесообразно использование упрощенных вариантов передвижения платформ с контейнерами. Это короткий отрезок железнодорожного пути на площадке перецепки контейнеров и две-три платформы с железнодорожной ходовой частью, установленные на железнодорожные пути. Перемещение платформ осуществляется канатом с помощью лебедки с реверсом. Пульт включения привода тяговой лебедки расположен в подъемной машине и соединен с лебедкой кабелем. Второй вариант предусматривает наличие контактной линии на участке железнодорожного пути и платформ, имеющих токосъемник и электродвигатель. При этом управление режимом подачи электрического напряжения в контактную линию выполняется из кабины машиниста подъемной машины по кабелю. Передвижением платформ управляют путем изменения электрического напряжения и тока или изменением полярности электрического тока в контактной линии. Управление тяговой лебедкой или подачей напряжения в контактную линию может осуществляться через специальный выключатель, находящийся в зоне действия грузозахватного устройства подъемной машины и снабженный удлиненным рычагом. Включение лебедки или подачу напряжения в контактную линию выполняют нажатием грузозахватным устройством на рычаг выключателя. Тупиковые пункты изменения направления движения платформ могут быть использованы для заполнения контейнеров горной массой или для замены порожних контейнеров на груженные. Для этого на флангах трассы устраивают эстакады или площадки для работы погрузчиков.

В каждом пункте заполнения контейнеров или

замены порожних контейнеров на груженные управление передвижением платформ выполняют дистанционно с пульта дистанционного управления из кабины водителя автосамосвала или машиниста погрузочного механизма.

С целью повышения мобильности комплекса оборудования, важной при работе на нижних горизонтах карьера в зоне частого проведения взрывных работ, можно применить передвижные платформы на пневмоколесном ходу. На площадках перецепки контейнеров несамостоятельная автоплатформа может перемещаться возвратно-поступательно лебедкой, управляемой из кабины машиниста с помощью выключателя с удлиненным рычагом или по кабелю (рис. 2).

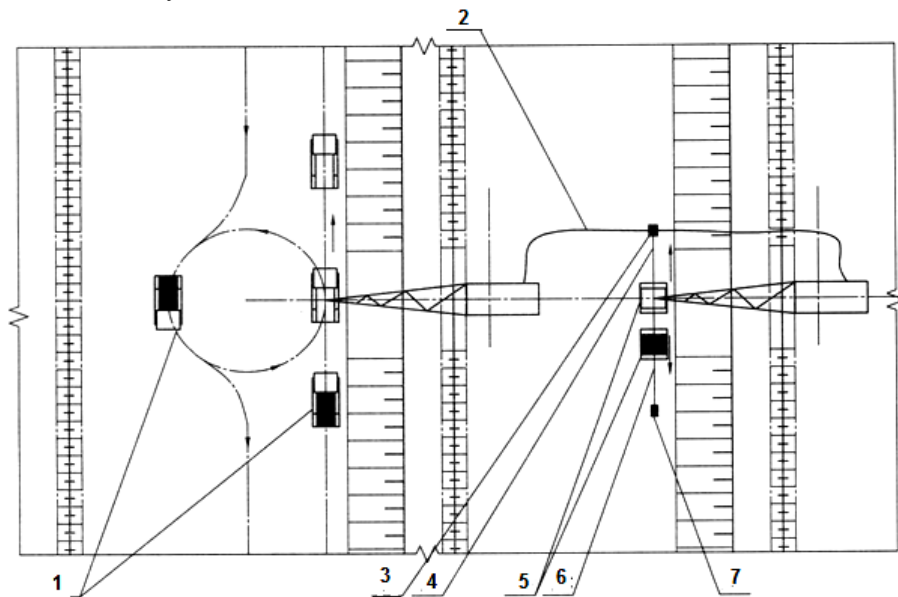


Рис. 2. Схема с несамостоятельной платформой, управляемой по кабелю:

- 1 – автосамосвал; 2 – кабель управления лебедкой; 3 – лебедка;
4 – тяговый канат лебедки; 5 – передвижная платформа на пневмоходу;
6 – возвратный канат лебедки; 7 – блок возвратного каната лебедки

Список литературы

1. Осадчий В.И. Подъем горной массы в контейнерах – перспективный путь решения транспортных проблем на глубоких карьерах // Горный журнал. 2004. №10. С. 84-85.
2. Битимбаев М.Ж., Жунусов Т.Т., Кузьмин С.Л., Маулянабаев Т.И. Обоснование параметров перегрузочного узла при контейнерной технологии на открытых горных работах // Вестник Национальной инженерной академии РК. 2012. №4. С. 51-56.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

DESIGN TECHNOLOGIES AND EXCHANGE OF CONTAINERS ON THE LIFTING POINTS

Osadchy V.I., Maulyanbaev T.I., Kuzmin S.L.

Abstract. Growth of quarry depth leads to an increase mileage dump trucks, is then violated ecological environment and increases prime cost of transportation. The article provides the necessity rational introduction of container technology on the open pit mining. For the implementation of this technology proposed to use as hoisting machine a walking excavator ESh-10/70. The development of technological schemes of conveyors exchange at the transshipment point is done.

Keywords: container, lifting machine, walking excavators, mineral processing technology, the circuit of exchange, transshipment point.

References

1. Osadchy V.I. Pod'em gornoj massy v kontejnerah – perspektivnyj put' resheniya transportnyh problem na glubokih. [The rise of rock in containers – a promising way to solve the traffic problems on the deep pit]. *Gornyy zhurnal*. [Mining Journal], 2004, no.10. pp. 84-85.
2. Bitimbayev M.J., Zhunusov T.T., Kuzmin S.L., Maulyanbaev T.I. Obosnovanie parametrov peregruzochnogo uzla pri kontejnernoj tehnologii na otkrytyh gornyh rabotah. [Justification the settings for container transshipment node technology in open cast mining]. *Vestnik Nacional'noy inzhenernoy akademii RK*. [Bulletin of the National Engineering Academy of Kazakhstan], 2012, no.4, pp. 51-56.

ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ И ОТХОДОВ

УДК 622.772:622.343'17

Рыльникова М.В., Емельяненко Е.А., Ангелова Е.И.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ЛИГНОСУЛЬФОНАТА ПРИ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ СТАРОГОДНИХ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ МЕДНО-КОЛЧЕДАНЫХ РУД

Аннотация. В статье изложены результаты лабораторных исследований серно-кислотного выщелачивания меди и цинка из лежалых отходов переработки. Рассматривается интенсификация процессов выщелачивания, которая становится возможной при использовании кислоты слабой концентрации, модифицированной комплексом природного происхождения – техническим лигносульфонатом (ЛСТ). Данный реагент характеризуется нетоксичностью, избирательностью, доступностью, повышая при этом качественные и количественные показатели при минимальном воздействии на окружающую среду.

Ключевые слова: выщелачивание, техногенные отходы, технический лигносульфонат, природные комплексоны.

В результате длительного и интенсивного освоения георесурсов Земли и наращивания горного производства на поверхности было образовано большое количество техногенных объектов, представленных отходами горно-обогатительного и металлургического производств: вскрышные породы, бедные руды, отходы сепарации, текущие и лежалые хвосты обогащения руд, шлаки и шламы, промышленные стоки. В настоящее время они не могут быть подвергнуты эффективной вторичной переработке физико-техническими технологиями и представляют собой источник экологической опасности для природной среды [1]. В этой связи особую значимость приобретают вопросы комплексного, экологически безопасного освоения природных и техногенных месторождений минерального сырья с применением физико-химических технологий, которые позволяют не только интенсифицировать основные и вспомогательные процессы добычи, переработки руд и техногенного сырья, но и снизить капитальные и эксплуатационные затраты. Поэтому задача поиска эффективных технологий, обеспечивающих снижение накопленных объемов отходов и вовлечение их в промышленное использование, может быть решена при помощи процессов подземного, скважинного и кучного выщелачивания.

Перспективным способом комплексной переработки техногенного медно-колчеданного сырья является выщелачивание ценных компонентов слабым раствором серной кислоты, модифицированной многофункциональными комплексоном природного генезиса, такими как гуминовые вещества. В исследованиях [2-4] были получены хорошие результаты при применении фульвокислоты (ФК) в качестве интенсифицирующей добавки при выщелачивании медьсодержащих георесурсов.

Способность гуминовых кислот к взаимодействию с металлами обеспечивает повышение их извлечения в продуктивные растворы выщелачивания в 1,5-2 раза. Это обусловлено наличием в их структуре ряда активных функциональных групп, многие из ко-

торых также содержатся и в лигнинах – сложных полимерных веществах растительного производства, подтверждающих общность этих соединений и схожесть свойств. Сопоставление свойств и структуры лигнина с гуминовыми веществами показывает, что функциональные группы, которые присутствуют в лигнинах, также способны образовывать комплексы с ионами металлов в результате присоединения катионов металлов к двум или более донорным атомам, принадлежащим одной молекуле комплексобразующего агента. Это позволило по аналогии с ФК, то есть с растворимыми гуминовыми веществами, рекомендовать растворимые виды лигнинов [5], а именно лигносульфонаты, для химической интенсификации процесса выщелачивания меди и цинка из техногенных отходов добычи и переработки медно-колчеданных руд.

Лигносульфонаты широко применяются в технологиях выщелачивания урановых руд и отходов их добычи и переработки [6]. Однако исследования по применению природных комплексонов для выщелачивания отходов медно-колчеданных руд, содержащих сульфиды меди и цинка, до настоящего времени не проводились.

С использованием результатов обзора технической литературы, патентных исследований, опыта ведущих предприятий по выщелачиванию урановой руды проведены работы по применению природного комплексона лигносульфонат натрия технического для выщелачивания техногенных отходов медно-колчеданных руд.

Лигносульфонаты – соли лигносульфоновых кислот с молекулярной массой от 200 до 200000, образующиеся при производстве сульфидной целлюлозы. В зависимости от глубины сульфирования и методов выделения они имеют переменный состав. Общая формула ЛСТ – $C_{26}H_{30}O_{12}S$, средний элементный состав: 53,46%С, 5,37%Н, 5,02%S, 12,0%CH₃ [6, 7].

Такое строение (рис. 1) определяет дипольный характер коллоидных частиц и обуславливает проявление ими поверхностно-активных свойств (ПАВ).

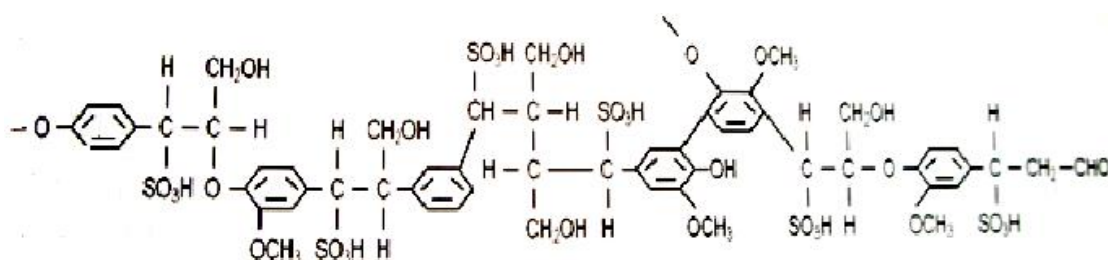


Рис. 1. Схематическое изображение сульфоновых кислот [6]

Лигносульфонаты – анионные ПАВ, с молекулярной массой 5000 состоят в основном из линейных молекул и содержат разнообразные функциональные группы: гидрофильную составляющую, представленную гидроксо-, сульфополярными группами, и гидрофобную составляющую углеводородный радикал. Такая двойная природа ПАВ придает им особые свойства, в частности, реализуется способность к адсорбции на границе раздела фаз [7].

Установленный ранее механизм действия ЛСТ [8] связан с его физической и химической адсорбцией на минеральной поверхности на границе раздела Т-Ж. Снижение поверхностного натяжения на границе раздела двух фаз способствует повышению активности выщелачивающего раствора и ускорению реакций выщелачивания ценных компонентов.

С целью определения возможности физико-химической интенсификации процесса серно-кислотного выщелачивания проведены лабораторные исследования, в которых изучалось влияние лигносульфоната натрия технического на процесс извлечения меди и цинка из лежалых хвостов обогащения Учалинской обогатительной фабрики.

Методика эксперимента состояла в том, что пробы хвостов весом 100 г сразу после измельчения заливались 100 мл 5% H_2SO_4 без добавления реагентов-интенсификаторов и выставлялись в течение 5 сут в режиме закисления. Затем в течение 5 сут они подвергались режиму аэрации, после чего в пробы доливалось 200 мл раствора комплексного растворителя, состоящего из 2% серной кислоты, модифицированный различным содержанием ЛСТ (см. рис. 1). Смесь подвергалась перемешиванию в течение часа с периодичностью 2 раза в сутки. Продолжительность выщелачивания составляла 25 сут. Продуктивные растворы отбирались на анализ каждые 5 сут выщелачивания.

Результаты эксперимента, представленные на рис. 2, показали, что добавка ЛСТ с оптимальным расходом 0,2-0,3% к раствору 2% серной кислоты повышает извлечение меди на 25% и цинка на 10% при выщелачивании в течение 15 сут. Максимального извлечения меди и цинка в раствор 79 и 90% соответственно можно добиться через 15 сут при концентрации ЛСТ 0,3%. Дальнейшее увеличение концентрации до 0,4% и 0,5% существенно, на 20-25%, ухудшает показатели извлечения ценных компонентов в раствор, а увеличение времени выщелачивания свыше 15 сут заметно не изменяет показатели извлечения металлов.

Результаты проведенных исследований на лежалых хвостах обогащения Учалинского ГОКа показали возможность эффективного применения ЛСТ в про-

цессе серно-кислотного выщелачивания меди и цинка. Полученные зависимости свидетельствуют о повышении извлечения ценных компонентов в раствор уже в первые сутки выщелачивания. Оптимальный расход ЛСТ варьирует в пределах 1-3 кг/т. Дозирование реагента должно быть точным, так как с увеличением концентрации модификатора в выщелачивающем растворе эффективность его действия снижается.

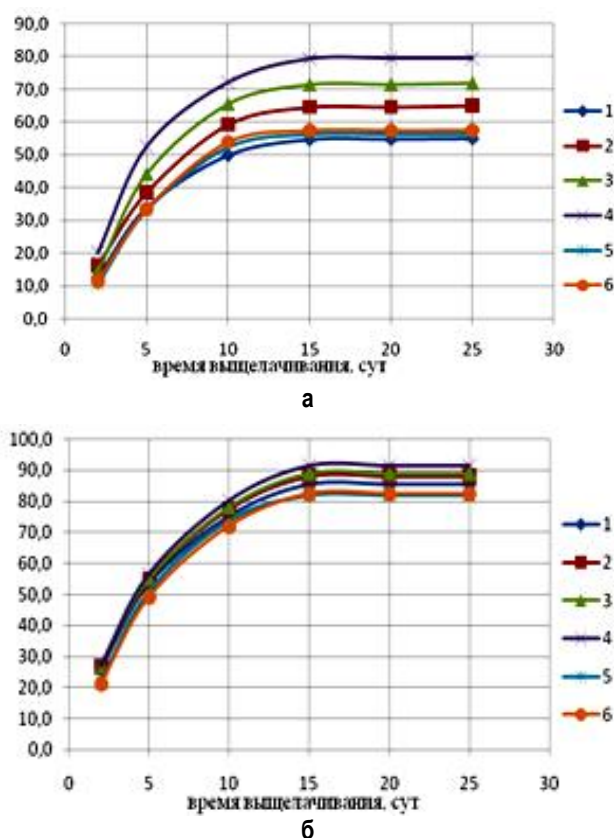


Рис. 2. Зависимость извлечения меди (а) и цинка (б) от времени выщелачивания хвостов обогащения Учалинской фабрики в 2%-й серной кислоте с различной концентрацией ЛСТ: 1 – 0%; 2 – 0,1%; 3 – 0,2%; 4 – 0,3%; 5 – 0,4%; 6 – 0,5%

Влияние ЛСТ на изменение свойств поверхности минеральных частиц установлено при оценке по известным методикам [9] скорости смачивания хвостов обогащения Учалинской обогатительной фабрики, имеющих крупность $-0,074+0$ мм. Установлено, что скорость смачивания хвостов обогащения 2% серной кислотой составляет $0,35 \cdot 10^{-4}$ м/с. Присадка в выще-

лачивающий раствор ЛСТ в количестве 0,2% увеличивает скорость смачивания поверхности окисленных минералов в 1,3 раза, что интенсифицирует скорость процесса выщелачивания (рис. 3).

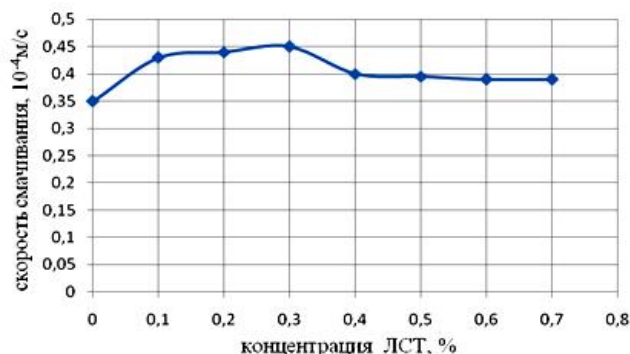


Рис. 3. Влияние ЛСТ на скорость смачивания хвостов обогащения

Таким образом, можно сделать вывод, что в результате проведения лабораторных испытаний сернокислотного выщелачивания медно-колчеданных руд в присутствии ЛСТ показали эффективность применения последних. Добавка модификатора ЛСТ концентрации 0,3% повышает извлечение меди по сравнению с базовым опытом на 25%, цинка на 10%. Повышение скорости выщелачивания ценных компонентов

из старогодних отходов переработки за счет добавления в реагентный раствор выщелачивания нетоксичного, избирательного ЛСТ, являющегося отходом деревообрабатывающей промышленности и имеющего низкую цену, указывает на его высокую перспективность промышленного использования

Список литературы

1. Ангелов В.А., Емельяненко Е.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.
2. Ангелова Е.И. // Материалы международного совещания «Новые технологии обогащения и комплексной переработки труднообогатимого природного и техногенного сырья (Плаксинские чтения 2011): сб. тезисов. Екатеринбург: УГТУ, 2011. С. 235-436.
3. Рыльникова М.В., Ангелова Е.И. // Инновационное развитие и востребованность науки в современном Казахстане: сб. статей междунар. науч. конференции. Астана, 2008. С. 342-347.
4. Емельяненко Е.А., Ангелова Е.И. // Материалы 69-й науч.-техн. конференции: сб. докладов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011., С. 49-52.
5. Филиппов А.П., Нестеров Ю.В. // Химическая технология. 2001. №5.
6. Чудаков М.И. Промышленное использование лигнина. М.: Лесная промышленность, 1972. С. 61-89.
7. Сапотницкий С.А. Использование сульфитных щелоков. М.: Лесная промышленность, 1981. С. 108-119.
8. Грушников О.П., Елкин В.В. Достижения и проблемы химии лигнина. М., 1973.
9. Воробьев А.Е. Научно-методические основы управления качеством сырья в техногенных минеральных объектах с использованием геохимических барьеров: дис. ... д-ра техн. наук. М., 1996. 385 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE EFFECTIVENESS OF THE TECHNICAL LIGNOSULPHONATE LEACHING STALE WASTES FROM COPPER PYRITE ORES

Rylnikova M.V., Emelianenko E.A., Angelova E.I.

Abstract. The paper presents the results of laboratory studies of sulfuric acid leaching of copper and zinc from waste recycling stale. Considered intensification of leaching, which is made possible by the use of low concentration of acid-modified kompleksonom natural origin – technical lignosulfonate (LST). This reagent is characterized by non-toxicity, selectivity, availability, while improving the quality and quantity with minimal impact on the environment.

Keywords: leaching, technological waste, technical lignosulfonate, natural chelating.

References

1. Angelov V.A., Emelianenko E.A., Emelianenko M.M. Razrabotka sposoba formirovaniya tehnogennoy obrazovaniya iz hvostov obogashheniya medno-kolchedannykh rud s zadannymi strukturnymi harakteristikami. [Provide a method of forming technogenic education from the tailings of copper-sulfide ores with desired structural characteristics]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. Vestnik of Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, 2012, no.1, pp. 13-16.
2. Angelova E.I. *Materialy mezhdunarodnogo soveshchaniya "Novye tekhnologii obogashcheniya i kompleksnoy pererabotki trudnoobogatimogo prirodnogo i tekhnogennoy syr'ya (Plaksinские чтения 2011)*. [Proceedings of the International Meeting "New enrichment and refractory complex

processing of natural and man-made materials (read Plaksin 2011)]. *Ekaterrinburg, 2011, pp. 235-436*.

3. Rylnikova M.V., Angelova E.I. *Innovatsionnoye razvitiye i vostrebovanost' nauki v sovremennom Kazakhstane: sb. statej mezhdunar. nauch. konferentsii*. [Innovative development and relevance of science in modern Kazakhstan]. Astana, 2008, pp. 342-347.
4. Emelianenko E.A., Angelova E.I. *Materialy 69-j nauch.-tekhn. konferentsii: sb. dokladov*. [Proceedings of the 69th Scientific Conference. Collection of the scientific works]. Magnitogorsk: Magnitogorsk state technical university. G.I. Nosova, 2011, pp. 49-52.
5. Filippov A.P., Nesterov Y.V. *Khimicheskaya tekhnologiya*. [Chemical technology], 2001, no.5.
6. Eccentric M.I. *Proyshlennoye ispol'zovanie lignina*. [Industrial use of lignin]. Moscow: Forest Industry, 1972, pp. 61-89.
7. Sapotnitsky S.A. *Ispol'zovanie sul'fitnykh shhelokov*. [The use of sulfite liquor]. Moscow: Forestry Industry, 1981, pp. 108-119.
8. Grushnikov O.P., Elkin V.V. *Dostizheniya i problemy khimii lignina*. [Achievements and problems in chemistry of lignin]. Moscow, 1973.
9. Vorobiev A.E. *Nauchno-metodicheskie osnovy upravleniya kachestvom syr'ya v tekhnogennykh mineral'nykh ob'ektakh s ispol'zovaniem geokhimicheskikh bar'erov*. Extended abstract of PhD dissertation [Methodological bases for quality control of raw materials in the man-made mineral objects using geochemical barriers], Moscow, 1996, 385 p.

ПРИМЕНЕНИЕ КЛИНКЕРА В КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ СТОКОВ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ*

Аннотация. На отдельных предприятиях цветной металлургии десятилетия работы с низкими показателями извлечения привели к тому, что запасы полезных ископаемых в отходах производства выше, чем в природных месторождениях, предназначенных к разработке в ближайшей перспективе, а техногенные сточные воды имеют концентрации металлов, позволяющие рассматривать их в качестве гидроминерального сырья.

Перспективными являются решения совместного вовлечения в процесс жидких и твердых отходов. Основные принципы совместной переработки – это селективное взаимообогащение участвующих в процессе фаз разными ценными компонентами, концентрирование компонента в одной из фаз за счет аккумулятивной способности твердой или выщелачивающей способности жидкой фазы. Данный подход позволяет получить интегральный экономический и экологический эффекты.

Ключевые слова: медь, цинк, техногенные отходы, переработка, гальванокоагуляция, технология.

Несмотря на давность и большое количество исследований в области экологически чистого производства, проблема утилизации и переработки твердых и жидких отходов горно-металлургических предприятий остается актуальной до сих пор. В настоящее время ликвидация отходов стоит в ряду экологических задач горно-металлургических предприятий на первом месте. Растет загрязнение окружающей среды, соответственно штрафы за несоблюдение экологических норм и требований тоже возрастают.

Важно отметить, что множество разработанных способов утилизации накопленных и генерируемых отходов (складирование, сжигание, компостирование, захоронение) не обеспечивают должного уровня экологической и экономической эффективности при необходимой высокой производительности процесса. Кроме того, предлагаемые методы утилизации отходов – мероприятия дорогостоящие, что обусловлено высокими затратами при создании и эксплуатации эффективного специального оборудования. Поэтому самое надежное решение данной проблемы – переработка с извлечением ценных компонентов, обеспечивающая малоотходное производство.

Однако большинство заскладированных твердых отходов имеют низкие массовые доли ценных компонентов и поэтому не вовлекаются в оборот, среди которых известен медистый клинкер. Кроме того, в результате деятельности горно-металлургических предприятий образуются сточные воды, зачастую они являются сильнозагрязненными и имеют высокие концентрации ценных компонентов, которые при очистке переводятся в шламы, не пригодные для дальнейшего их извлечения. Следовательно, интересным для исследований является вопрос возможности совместной переработки жидких и твердых отходов с получением утилизируемых продуктов и очищенной воды, а также поиск метода подобной переработки.

Лежалый медистый клинкер является одним из отходов переработки цинковых концентратов. Он представляет собой зернистый материал, имеющий сложный химический и минералогический состав. При проведении магнитной сепарации клинкера соот-

ношение магнитной фракции к немагнитной составило примерно 2:1 (табл. 1). Магнитная часть представлена металлическим железом, имеющим глобулярную форму, немагнитная часть – частицами кокса. Благодаря присутствию в клинкере металлической и углеродной части он может воспроизвести загрузку гальванокоагулятора, где обычно в качестве гальванопары используется Fe/C [1].

Таблица 1

Характеристика клинкера

Фракция	Выход фракций, %	Массовая доля металлов, %		
		Fe	Cu	Zn
Клинкер	100,00	28,65	3,05	2,18
Магнитная	67,10	41,31	4,21	3,03
Немагнитная	32,90	2,82	0,68	1,36

Метод гальванокоагуляции получил развитие в 70-80-х годах 20 века, он применяется для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов. Особенностью метода является наличие двух фаз: накопитель (твердая фаза) – обрабатываемый раствор (жидкая фаза). В качестве твердой фазы кроме известной гальванопары Fe/C также известны гальванопары представляющие смеси металлов с углеродсодержащим материалом [2-4]. В виде обрабатываемого раствора обычно выступают стоки техногенных вод.

На Южном Урале в результате деятельности горно-металлургических предприятий, к которым относятся ОАО «УГМК» и ЗАО «Русская медная компания», при добыче и обогащении медных и медно-цинковых колчеданных руд образуется около 2-6 м³ техногенных вод на тонну добытой руды. Качество вод по индексу ИЗВ₆ соответствует VI и VII классам. Эти воды (табл. 2) очень загрязнены и являются основными техногенными источниками поступления тяжелых металлов в гидросферу Уральского округа [5].

Высокое содержание меди и цинка в совокупности со значительными объемами техногенных вод, с одной стороны, наносят непоправимый урон окружающей среде, а с другой – представляют большие «скопления» металлов, что позволяет рассматривать данные воды в качестве гидроминеральных ресурсов.

* Работа выполнена при поддержке гранта Министерства образования РФ ФЦП №14.В37.21.1910.

Таблица 2

Характеристика некоторых техногенных потоков предприятий медно-цинковой подотрасли

Предприятие	Наименование потока воды	Концентрация металлов, мг/дм ³			pH	Объем, м ³ /ч
		Cu	Zn	Fe		
Медногорский МСК	подотваль-ные воды	40-1100	20-3500	250-8000	1,9-3,2	3,0
	сток фабрики	10-65	1-30	10-60	2,7-5,4	150,4
УГОК Учалинская промплощадка	шахтные	0,02-835,00	57,6-1835,5	0,40-995,2	3,55-7,15	275,2
	подотваль-ные	7,70-234,70	65,3-1200,0	27,4-448,0	2,9-4,4	295,0
УГОК Узельгинская промплощадка	кислый пруд	0,01-2,20	4,2-25,1	2,2-9,7	5,7-7,8	250,0
	шахтные	0,01-0,25	0,1-1,97	0,01-0,12	6,9-8,1	50,0
	карьерные воды	0,38	4,5-10,8	11,3-23,4	5,1-6,7	175,6
Гайский ГОК	рудничные воды	219,00	160	785	2,64	156,4
	карьерные воды	0,05-0,19	0,05-0,19	0,262-0,64	7,74-7,93	200
Сибайский ГОК	подотваль-ные воды	18-350,0	68,1-600,0	50-373,7	3,17-7,9	108,7
	карьерные воды	0,014-0,059	0, 11-1,91	0,067-0,65	7,3-8,2	46,2
	шахтные воды	0,042-0,65	0,227-2,35	0,03-6,6	6,6-9	156,6

В результате поиска метода, удовлетворяющего совместной переработке жидких и твердых отходов горно-металлургической промышленности, выбрали гальванокоагуляцию. В качестве загрузки использовали клинкер, а в качестве жидкой фазы – сточные воды Медногорского МСК.

Среди факторов для регулирования эффективности процесса были выбраны в качестве доминантных следующие: соотношение магнитной и немагнитной фракции клинкера, время обработки раствора, pH среды. Именно эти факторы определяют эффективность очистки и селективность извлечения меди и цинка из сульфатных растворов, что было установлено ранее проводимыми исследованиями [6].

Результаты факторных экспериментов показали, что при преобладании магнитной фракции в загрузке повышается концентрация цинка в сливе гальванокоагулятора, что нежелательно, но при этом наблюдается высокое извлечение меди в осадок (рис. 1).

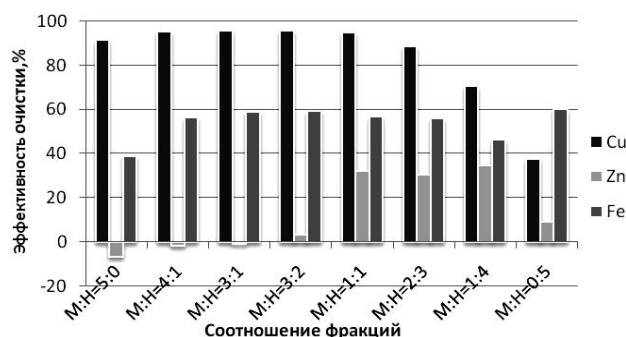


Рис. 1. Влияние соотношения магнитной и немагнитной фракций клинкера на эффективность очистки сточных вод

При преобладании немагнитной фракций эффективность извлечения цинка увеличивается, но несколько снижается по меди из-за отсутствия цементационной составляющей процесса. Железо во всех поставленных опытах извлекается из раствора не более чем на 32% [7]. Полученные результаты позволяют определить оптимальное соотношение магнитной и немагнитной фракций клинкера для использования в качестве загрузки гальванокоагулятора с целью комплексной очистки воды. Результаты исследований влияния времени обработки на эффективность извлечения металлов из вод от тяжелых металлов показали, что в изученном временном интервале эффективность очистки по железу составило 42% за 60 мин, а по цинку 7% (табл. 3). При этом в течение первых 15 мин содержание меди снижается с 500 до 8 мг/дм³, и степень очистки соответственно достигает 98%. Дальнейшее увеличение времени обработки существенно не влияет на степень удаления меди из раствора.

Определение оптимального значения pH раствора проводили в диапазоне от 1,0 до 7,0, который был выбран из условия преимущественного нахождения металлов цинка и железа (II) в исходном растворе в ионно-растворенной форме. По полученным результатам установлено, что с увеличением pH повышается эффективность очистки по всем металлам. Так, эффективное удаление меди (99%) наблюдается уже при pH=3, цинка (56%) и железа (97%) при pH > 5 (рис. 2). Исходный раствор имеет pH=2,8, при таком pH наблюдается высокое извлечение меди.

Таблица 3

Влияние времени обработки на эффективность очистки сточных вод от ионов меди, цинка и железа

Продолжительность обработки, мин	Концентрация в растворе, мг/дм ³			Эффективность очистки, %			Удельная масса осадка, Г/дм ³ раств
	Cu	Zn	Fe	Cu	Zn	Fe	
0	500	1800	2500	0,00	0,00	0,00	
5	11,11	1925	2350	97,78	-6,94	6,00	2,16
10	24,5	1938	2075	95,10	-7,67	17,00	2,66
15	8,43	1789	1874	98,31	0,6	25,04	2,72
30	8,54	1774	1575	98,29	1,44	37,00	3,25
45	8,12	1764	1562	98,38	2,00	37,52	3,57
60	8,32	1675	1460	98,34	6,94	41,60	3,74

*Отрицательные значения свидетельствуют о переходе цинка из клинкера в осадок

По вышеприведенным результатам сделан следующий вывод. Применение метода гальванокоагуляции с загрузкой медистого клинкера позволяет извлечь медь из раствора на 93-98%. Высокая селектив-

ность извлечения меди наблюдается при времени обработки от 5 до 15 мин, при значении $pH=3$, т.е. без изменения pH исходного раствора.

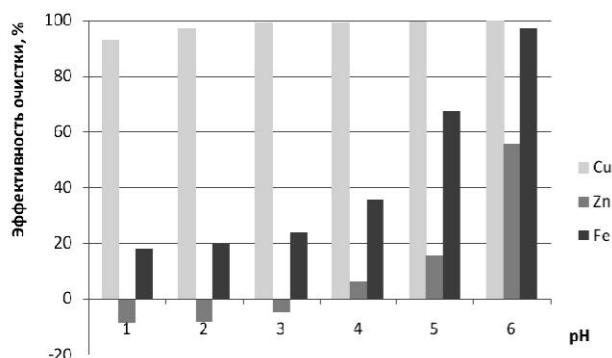


Рис. 2. Зависимость эффективности очистки сточных вод от значения pH

Для наилучшего извлечения цинка и железа (до 90%) необходимо довести pH раствора до 6-7 и увеличить время обработки до 30 мин и больше.

Из этого следует, что процесс извлечения следует разделить на две стадии, в первой стадии получать в осадок медь, а во второй – цинк (рис. 3). В первой стадии может быть получен осадок со значительным преобладанием массовой доли меди над цинком при времени обработки 15 мин и $pH=3$, во второй стадии, при времени обработки 30 мин и $pH=6$ может быть получен осадок с большей массовой долей цинка. Снижение концентрации цинка, железа и сульфатов достигается во второй стадии за счет увеличения времени обработки и предварительного подщелачивания раствора. Обогащению осадка по цинку способствует его переход из загрузки в раствор в первой стадии гальванокоагуляции.

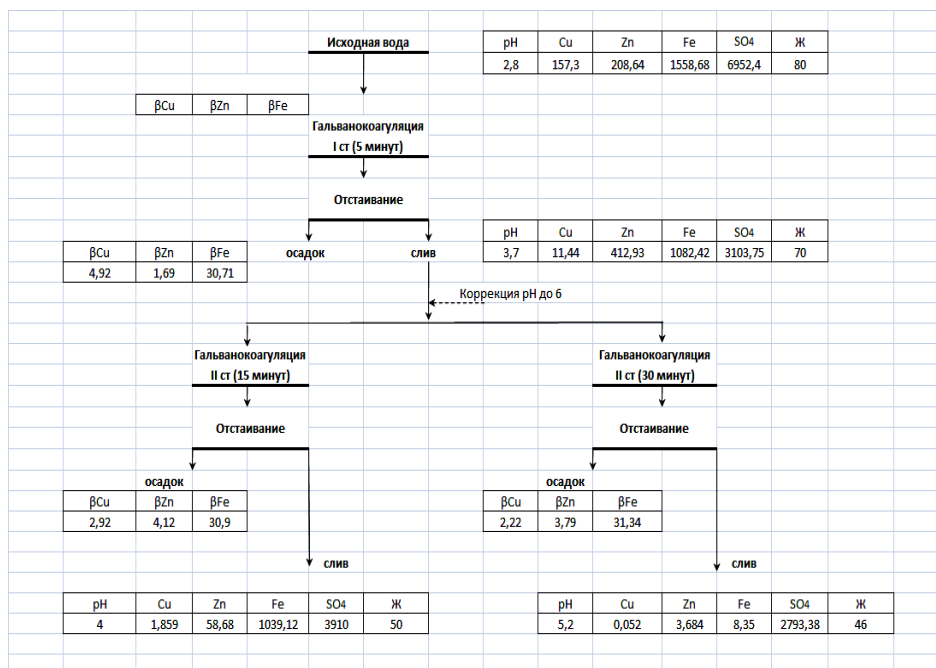


Рис. 3. Схема очистки вод с двумя стадиями гальванокоагуляции

Рентгенофазовый анализ осадка, полученного в первой стадии гальванокоагуляции, показал, что в осадок переходят частицы клинкера в результате механического истирания загрузки и вновь образованные фазы: гетит, роценит, купрошпинель, элементная медь, Zn-Fe-шпинель. Основными фазами осадка являются железокислородные соединения, среди которых распространены магнетитовосприимчивые формы соединений железа типа $FeOOH$ и Fe_3O_4 , в виде гетита и магнетита, а также гидроксиды (табл. 4).

Таблица 4

Фазовый состав осадка

Номер	Фаза	Наименование	Массовая доля, %
1	C	Углерод (кокс)	17,6
2	$FeOOH$	Гетит	12,4
3	$FeSO_4 \cdot 4H_2O$	Роценит	12,0
4	Fe_3O_4	Магнетит	10,2
5	$CuFeO_2$	Делафоссит	5,0
6	FeO	Вюстит	4,9
7	$ZnFe_2O_4$	Zn- Fe-шпинель	4,0
8	$Fe(OH)_2$	Гидроксид железа(II)	3,8
9	$Fe(OH)_3$	Гидроксид железа(III)	3,0
10	$CaSO_4$	Гипс	2,9
11	$CuFe_2O_4$	Купрошпинель	2,4
12	Cu	Медь	2,2
13	$ZnCO_3$	Смитсонит	1,2
Прочее, включая «стекло»			18,4
Всего			100,0

Осадок является утилизируемым в металлургическом перепеде.

Изучение применения гальванокоагуляции с использованием клинкера показало, что гальванокоагуляционная обработка воды снижает остаточную концентрацию металлов, при этом возрастает эффективность очистки. Следовательно, изученный метод может использоваться в качестве предварительной очистки воды.

Выводы

Перспективными для ресурсовозобновляющей переработки гидроминеральных ресурсов являются решения совместного вовлечения в процесс жидких и твердых отходов для взаимообогащения участвующих в процессе фаз разными ценными компонентами, концентрирования компонента в одной из фаз за счет аккумулятивной способности твердой или выщелачивающей

способности жидкой фазы.

Применение в качестве гальванопары отхода вельцевания – медистого клинкера способствует созданию малоотходного горно-металлургического производства. Очистка сточных вод с помощью гальванокоагуляции позволяет перевести ценные металлы в осадки, пригодные для дальнейшей переработки.

Использование гальванокоагуляции с применением клинкера в качестве предварительной очистки воды позволяет повысить эффективность очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов.

Список литературы

1. Чантурия В.А., Соложенкин П.М. Гальванохимические методы очистки техногенных вод. Теория и практика. М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. 204 с.
2. Пат. 2167110 РФ, МПК C02F9/06, C02F1/58, C02F9/06, C02F1:463. Способ очистки производственных стоков и устройство для его осу-

3. ществления / Соложенкин П.М., Соложенкин И.П., Топчаев В.П., Топчаев А.В., Шапировский М.Р., Зинина Л. Пат. 2079439 РФ, МПК C16 C02 F1/463. Способ гальванокоагуляционной очистки промышленной сточной воды / Золотников А.Н., Громов С.Л., Короткевич И.Б., Бомштейн В.Е., Малышев Р.М.
4. Соложенкин П.М., Соложенкин И.П., Соложенкин О.П. Эффект макрогальванопары в очистке сточных вод: теоретические проблемы и конструирование аппаратуры // III Конгресс обогатителей стран СНГ: тез. докл. М.: Альтекс, 2001. С. 231-232.
5. Чантурия В.А., Шадрюнова И.В., Орехова Н.Н., Чалкова Н.Л. Технология извлечения цинка из рудничных и подтовальных вод // Обогащение руд. 2011. №1. С. 36-39.
6. Орехова Н.Н., Чалкова Н.Л. Технология селективного извлечения цинка из гидротехногенных георесурсов медноколчеданных месторождений // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. №3. С. 55-59.
7. Орехова Н.Н., Бикбаева Г.А., Акуленко И.В. Изучение возможности применения клинкера для очистки кислых сульфатных металлосодержащих техногенных вод методом гальванокоагуляции // Комплексное освоение месторождений полезных ископаемых. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. С. 177-183.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

CLINKER APPLICATION IN COMPLEX TREATMENT OF TECHNICAL SEWAGE OF MINING AND METALLURGICAL FACILITIES

Bikbaeva G.A., Orekhova N.N., Kulikova E.A.

Abstract. In some non-ferrous production companies after years of operating at low resource extraction levels the amount of mineral resources in industrial wastes became higher than in natural deposits to be developed in the middle term and technogenic waste waters metal concentrations in make the latter hydromineral raw materials.

Combined utilization of liquid and solid wastes shows considerable potential. The underlying principles of combined processing include selective mutual enrichment of participating phases with various valuable components, component concentration in one phase due the accumulative ability of the solid phase or the leaching ability of the liquid phase. This approach has an integral economic and ecological effect.

Keywords: copper, zinc, industrial wastes, processing, galvanocoagulation, technology.

References

1. Chanturiya V. A., Solozhenkin P.M. *Gal'vanokhimicheskie metody ochistki tekhnogennykh vod. Teoriya i praktika*. [Galvanic and chemical techniques of industrial wastewater treatment. Theory and practice]. Moscow, IKC «Academkniga», Publ., 2005, 204p.
2. Solozhenkin P.M., Solozhenkin I.P., Topchaev V.P., Topchaev A.V., Shapirovsky M.P., Zinina L. *Sposob ochistki proizvodstvennykh stokov i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya*. [A method of industrial wastewater treatment and apparatus for its implementation]. Patent RF, no.2167110, 2001.
3. Zolotnikov A.N., Gromov S.L., Korotkevich I.B., Bomshtein V.E., Malishev R.M. *Sposob gal'vanoagulyatsionnoy ochistki promyshlennoy stochnoj vody*. [A method of galvanic and coagulatory treatment of industrial

4. wastewater] Patent RF no.2079439, 1997.
5. Solozhenkin P.M., Solozhenkin I.P., Solozhenkin O.P. *Ehffekt makrogal'vanopary v ochistke stochnykh vod: teoreticheskie problemy i konstruirovaniye apparatury*. [Galvanic couple effect in wastewater treatment: theoretical issues and equipment design]. *III Kongress obogatiteley stran SNG*. [III CIS Congress of the Mineral Processing Engineers]. Moscow, 2001. pp. 231-232.
6. Chanturiya V.A., Shadrinova N.N., Orekhova N.N., Chalkova N.L. *Tekhnologiya izvlecheniya tsinka iz rudnichnykh i podotval'nykh vod*. [Technology of zinc extraction from mine and underspill waters]. *Obogashchenie rud*. [Ores dressing], 2011, no.1, pp. 36-39.
7. Orekhova N.N., Chalkova N.L. *Tekhnologiya selektivnogo izvlecheniya tsinka iz gidrotekhnogennykh georesursov mednokolchedannykh mestorozhdeniy*. [Technology of selective zinc extraction from hydrotechnogenic georesources of copper-sulphide deposits]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov], 2011, no.3, pp. 55-59.
8. Orekhova N.N., Bikbaeva G.A., Akulenko I.V. *Izuchenie vozmozhnosti primeneniya klinkera dlya ochistki kislykh sulfatnykh metallisoderzhashchikh tekhnogennykh vod metodom gal'vanoagulyatsii*. [Study of the clinker usage possibility for treatment of acid sulphate metal comprising waters by galvanocoagulation]. *Kompleksnoe osvoenie mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh*. [Integrated mineral deposit development]. Magnitogorsk: Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, 2012, pp. 177-183.

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.746

Вдовин К.Н., Петров И.Е., Позин А.Е.

ЗАМЕРЫ ИЗНОСОВ УЗКИХ СТенок КРИСТАЛЛИЗАТОРОВ МНЛЗ

Аннотация. Стенки кристаллизаторов в процессе работы изнашиваются. Чтобы установить насколько этот износ препятствует дальнейшему применению, приходится разбирать кристаллизатор полностью. Чтобы снизить трудоемкость этого процесса, предложили устройство, позволяющее произвести измерения непосредственно на рабочей площадке. Описали существующие механизмы измерения износа узких стенок кристаллизатора.

Ключевые слова: кристаллизатор, медная стенка, слывовая МНЛЗ, износ.

Непрерывная разливка стали является высокоэффективным энергосберегающим и относительно экологически чистым процессом, обеспечивающим увеличенный выход годного металла. В настоящее время в ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ММК) действует 6 слывовых и 2 сортовые машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Наибольший объем производства обеспечивают слывовые МНЛЗ №1, 2, 3, 4, 6, находящиеся в ККЦ, и МНЛЗ №5 в ЭСПЦ. Характеристики слывовых МНЛЗ представлены в таблице.

Основные характеристики слывовых МНЛЗ ММК

Характеристика	МНЛЗ 1 и 4	МНЛЗ 2 и 3	МНЛЗ 5	МНЛЗ 6
Тип МНЛЗ	Криволинейная	Криволинейная	Криволинейная с вертикальным кристаллизатором	Криволинейная с вертикальным кристаллизатором
Производитель оборудования	Уралмаш	Уралмаш	Уралмаш	SMS-Siemag
Количество ручьев	Комбинированная, два-четыре	Четыре	Два	Один
Сечение отливаемых слывов, мм	250×750... 2 520	250×1080... 1350	250×1250... 2350	1400...2700
Толщина отливаемых слывов, мм	250	250	250	190, 250, 300
Радиус МНЛЗ, мм	8 000	8 000	8000	11000
Высота кристаллизатора, мм	1 200	950	900	900
Металлургическая длина, мм	35 800	28 000	31 685	34 200

Одним из основных критериев эффективности работы МНЛЗ является стойкость оборудования, особенно узлов с небольшим регламентом ремонтов – кристаллизаторов. Кристаллизатор – важнейшая часть любой машины непрерывного литья – предназначен для формирования заданного профиля заливаемого в него металла или сплава. Он работает как теплообменник, отводящий от слитка до 25% тепла, в нем

образуется прочная корочка затвердевшего металла.

В процессе эксплуатации кристаллизатор совершает возвратно-поступательные движения по определенному закону, а слыв, который в первоначальный момент фиксируется на затравке, постепенно с заданной скоростью вытягивается из кристаллизатора. Для облегчения вытягивания и отделения сформировавшейся корочки от медных стенок применяется шлакообразующая смесь, которая при разливке порционно засыпается в кристаллизатор. Такой характер работы обуславливает быстрый износ медных стенок, и в особенности узких, а следовательно, невысокий регламент ремонта и необходимость остановки МНЛЗ для замены кристаллизаторов.

На ММК существует ограничение в технологии разливки стали на МНЛЗ, связанное с износом узких стенок кристаллизаторов, при котором допускается производить разливку. Оно было установлено на основе исследований кристаллизаторов после аварийных ситуаций (прорывов) во время начала освоения этой технологии. Было выявлено, что большая часть прорывов происходит на кристаллизаторах с выработкой узких стенок в нижней части (по углам) 1,5 мм и более (рис. 1).

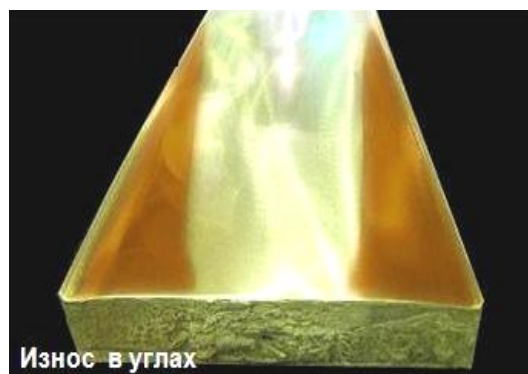


Рис. 1. Износ медной узкой стенки кристаллизатора МНЛЗ

Регулярно отслеживая износ узких стенок кристаллизаторов, установили, что он происходит в нижней

части его со стороны рабочей поверхности на длине 500-700 мм по торцам, в районе радиусов МНЛЗ 8000 и 7740 мм, на участках шириной до 70 мм. Величины износов отдельных стенок достигают 3,71 мм, при этом зависимости величины износа от наработки кристаллизатора выявлено не было (рис. 2 и 3).

После внедрения кристаллизатора трехплоскостной конструкции [1, 2] наработка кристаллизаторов увеличилась на 30%. В настоящее время экспериментально установлено, что это значение износов узких стенок трехплоскостной конструкции достигается при стойкости кристаллизаторов: для МНЛЗ №1 и 4 ~ 135 плавов, для МНЛЗ №2 и 3 ~ 175 плавов. Эти стойкости кристаллизаторов внесены в технологическую инструкцию по разливке стали на МНЛЗ ККЦ и определяют сроки их регламентной замены.

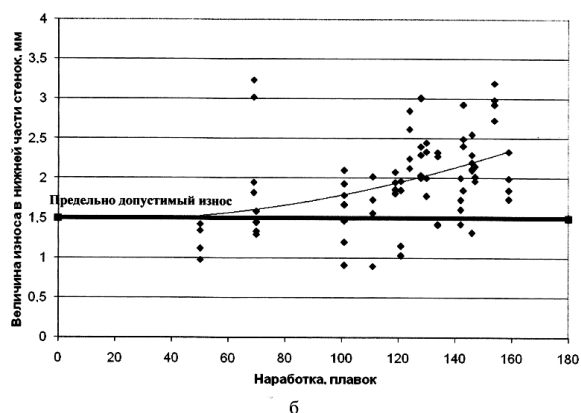
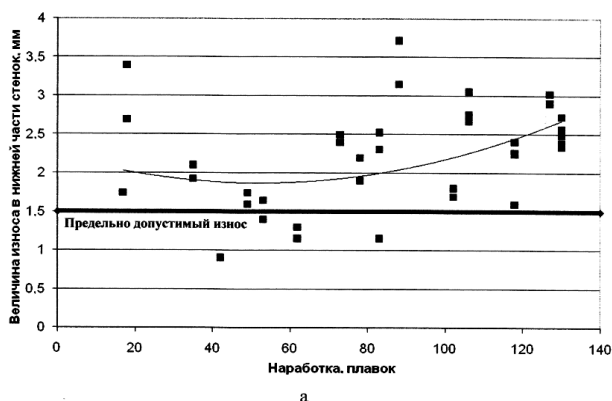


Рис. 2. Зависимости износа узких стенок кристаллизатора МНЛЗ №1 и 4 (а) и МНЛЗ №2 и 3 (б) от наработки

С момента внедрения технологии непрерывной разливки на ККЦ и по настоящее время в ЦРМО №3 проводят систематические измерения износов медных стенок после эксплуатации. Измерению подлежат, в обязательном порядке, стенки с кристаллизаторов с наработкой, превышающей назначенную, с аварийных, либо кристаллизаторов, имевших замечания в процессе разливки. Остальные кристаллизаторы проверяются выборочно. Для проведения проверки необходимо полностью разобрать кристаллизатор, т. к. иначе невозможно подвести мерительный инструмент для измерения износов на рабочих поверхностях.



Рис. 3. Замер износа медной стенки при помощи поверочной линейки

Первоначально замеры износов по углам узких стенок проводили следующим образом: стенку укладывали на подложки, рабочей поверхностью вверх, на стенку, по нижнему срезу устанавливали поверочную линейку типа ШД-2-1000 (ГОСТ 8026) и при помощи набора щупов (ГОСТ 882) определяли величину износа (см. рис. 3).

В настоящее время замеры износов узких стенок производятся на копировально-фрезерном станке марки 6В444.

Из разобранного кристаллизатора стенки после эксплуатации устанавливают на специальном приспособлении и выставляют в вертикальной плоскости по неизношенным участкам, либо по поверхности стальной стенки. Измерение проводят по специальной карте замеров индикатором часового типа ИЧ-25 кл.1 (ГОСТ 577-68) с точностью до 0,01 мм (рис. 4).

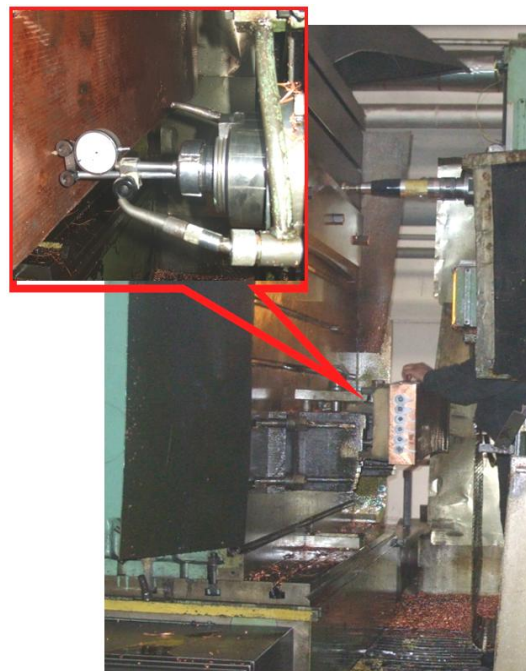


Рис. 4. Замер износов стенки на копировально-фрезерном станке

Однако все перечисленные методики обладают одним существенным недостатком. Проведение измерений происходит на уже полностью разобранном кристаллизаторе. Хотя износ стенок может быть небольшим (меньше допустимых значений).

Для ремонтной службы, если кристаллизатор разобран, эффективнее провести очередную перестройку стенок вместо отправки их на дальнейшую эксплуатацию. Это снижает действительные возможности по наработке узких стенок кристаллизаторов.

По этой причине в ЦРМО-3 ОАО «МПК» идет разработка специального приспособления, позволяющего контролировать значения износов медных стенок непосредственно на кристаллизаторе, в том числе установленного в МНЛЗ (подана заявка на изобретение). Это позволит измерять износ медных стенок непосредственно на разливочной площадке и при нормальном износе (до 1,5 мм) не выводить кристал-

лизаторы из эксплуатации.

Для проведения измерений устройство с помощью мостового крана опускается во внутреннюю полость кристаллизатора и базируется на торцевых гранях широких стенок. При помощи специальных буферных роликов центрируется в объеме кристаллизатора относительно широких стенок. После чего производится последовательное отслеживание размеров стенок кристаллизатора, идет сравнение данных с исходными и определяется реальный износ стенки.

Список литературы

1. Вдовин К.Н., Позин А.Е., Петров И.Е. Модернизация узких стенок кристаллизаторов слябовых МНЛЗ с целью продления ресурса // Актуальные проблемы современной науки и образования: материалы 69-й науч.-техн. конф. Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2011. Т. 2. С. 187-190.
2. Вдовин К.Н., Позин А.Е., Подосян А.А. Совершенствование конструкции узких стенок кристаллизаторов слябовых МНЛЗ // Сталь. 2012. №2. С.92-95.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

MEASUREMENTS OF CCM MOULDS NARROW WALLS WEARS

Vdovin K.N., Petrov I.E., Pozin A.E.

Abstract. Walls of moulds for continuous casting units are wearing. To identify in what degree this prevents subsequent application it is necessary to disassemble the crystallization fully. With the view of decreasing of this process' laboriousness it is offered device which make possible to carry out measurements directly on the net area. We described existent mechanisms of measurement of crystallization narrow walls.

Keywords: crystallization (mould), copper wall, slab CCM, wear.

References

1. Vdovin K. N., Pozin A. E., Petrov I. E. . Modernizacija uzkih stenok kristal-

lizatorov slyabovyh MNLZ s cel'ju prodleniya resursa. [Narrow walls' modernization of slab CCM moulds for the purpose of resource extension]. *Aktualnye problemy sovremennoj nauki i obrazovanija: materialy 69-j nauch.-tehn. konf.* [Actual problems of contemporary science and education: materials of 69 Scientific and Technical conference]. Magnitogorsk: FSBEI HPE «MSTU», 2011. T. 2. P. 187-190.

2. Vdovin K.N., Pozin A.E., Podosian A.A. Sovershenstvovanie konstrukcii uzkih stenok kristallizatorov slyabovyh MNLZ. [Improvement of narrow walls construction of slab CCM moulds]. *Steel*, 2012, no.2, pp. 92-95.

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.771.252.01

Корчунов А.Г., Бигеев В.А., Сычков А.Б., Зайцев Г.С., Ивин Ю.А., Дзюба А.Ю.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СКВОЗНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА БУНТОВОГО ПРОКАТА ИЗ СТАЛИ МАРКИ 80P В УСЛОВИЯХ ОАО «ММК»

Аннотация. В статье приведен анализ особенностей сквозной технологии производства высокоуглеродистой стали, ее внепечной обработки, непрерывной разливки, прокатки бунтового проката и термической обработки его на линии двустадийного охлаждения стана 170. Установлено, что проектные недостатки обуславливают ряд трудностей фактически на всех переделах. Предложен ряд технологических приемов по улучшению качества стали, непрерывно-литой заготовки, проката, а именно: исключение алюминия как раскислителя и замена его на кальцийсодержащий материал, подаваемый, преимущественно, в виде порошковой проволоки в несколько приемов ограниченными порциями, что обуславливает повышение чистоты стали от недеформирующихся неметаллических включений (НВ) окислов алюминия, что значительно повысило технологичность переработки такого проката при волочении; несколько увеличено содержание в стали марганца и снижено кремния. При двустадийном охлаждении проката, разложенного на витки, предложено увеличить скорость транспортирования витков катанки, обеспечивая тем самым совместно с интенсивным вентиляторным охлаждением высокую однородность структуры и свойств металла по длине витка и всего бунта. Для получения высокооднородной равномерной структуры и механических свойств бунтового проката, предназначенного для переработки в проволоку, стабилизированную проволоку для армирования железобетонных шпал нового поколения для высоконагруженных и скоростных железных дорог, стабилизированные арматурные канаты высокой прочности с малой релаксацией напряжений при эксплуатации, предложена концепция реконструкции линии Стелмор с обеспечением режимов изотермических процессов патентирования и рекристаллизационного отжига.

Ключевые слова: технология, качество, структура, свойства, однородность качественных параметров, линия Стелмор, реконструкция, патентирование, поточный рекристаллизационный отжиг, изотерма.

В рамках технического перевооружения производства ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК») на базе мартеновского цеха №1 в 2005-2008 гг. был создан электросталеплавильный цех, а также проведена модернизация сортопрокатного производства с демонтажом старых станов и установкой новых станов 450, 370 и 170 конструкции фирмы Даниели. В состав электросталеплавильного цеха входят три сталеплавильных агрегата – две дуговые электросталеплавильные печи и один двухванный сталеплавильный агрегат, две сортовые и одна слябовая машины непрерывного литья заготовок, два агрегата «печь-ковш» (АПК), агрегат доводки и установка усреднительной продувки стали. Поставку оборудования осуществляла одна из ведущих фирм в области электрометаллургии – VAI-Fuchs. Конечной продукцией электросталеплавильного производства является квадратная непрерывно-литая заготовка сечением 150×150, 150×172 мм и сляб сечением 250×1500 мм из углеродистых, конструкционных и легированных сталей. Большая часть заготовок и слябов направляется для дальнейшего передела в прокатное производство, другая часть отгружается потребителям как в России, так и за рубежом.

Дуговые электросталеплавильные печи фирмы «VAI-FUCHS» представляют собой современные агрегаты, номинальная масса плавки, как и для двухвального сталеплавильного агрегата, –180 т. В качестве шихтовых материалов все сталеплавильные печи исполь-

зуют жидкий чугун, металлический лом, ферросплавы, в качестве добавочных материалов используется известь, углеродсодержащие материалы и др. Электропечи имеют возможность работы как без жидкого чугуна (100% металлического лома, при этом цикл плавки по контракту составляет 48 мин), так и с жидким чугуном (от 25 до 40%, при этом цикл плавки снижается от 44 до 42 мин соответственно). Для нагрева и расплавления металлошихты в рабочем пространстве сталеплавильного агрегата используются следующие энергетические источники: электрическая дуга (мощность печного трансформатора – 150 МВА), также альтернативные источники энергии, подаваемые газокислородным горелками (ГКГ): природный газ, углеродсодержащие материалы, кислород. Металл из сталеплавильного агрегата выпускается в сталеразливочный ковш в виде полупродукта с заданной температурой.

Доведение расплава металла по химическому составу до заданной марки стали и усреднение химического состава стали осуществляется на АПК.

Продолжительность технологических операций по внепечной обработке стали для рядового сортамента составляет 40-50 мин, в случае необходимости глубокой десульфурации, либо подготовки псевдокипящих марок стали для разливки «закрытой» струей на сортовых МНЛЗ длительность обработки возрастает до 70-120 мин.

Измерение температуры и окисленности металла осуществляется при помощи системы «Celox» фирмы

«Heraus Electro-Nite».

Продувка металла в сталеразливочном ковше осуществляется снизу аргоном через две пористые пробки с максимальной интенсивностью до 1200 л/мин.

Агрегат доводки стали и установка усреднительной продувки стали по составу и оборудованию аналогичен агрегату печь-ковш, за исключением системы электронагрева. Подогрев плавки на агрегате доводки стали осуществляется путем химического нагрева, а на установке усреднительной продувки стали подогрев отсутствует.

Непрерывная разливка стали производится на двух сортовых пятиручьевых машинах непрерывного литья заготовок фирмы «VAI» и одной слябовой двухручьевой машины ОАО «УРАЛМАШ».

Сечение сортовой заготовки 150×150 мм (для новых сортовых станов) и в небольшом количестве – 150×172 мм, производительность каждой МНЛЗ – 1,0 млн т непрерывно-литой сортовой заготовки в год. Сечение слябовой заготовки (слябы) 250×750...1500, производительность 2,0 млн т непрерывно-литой слябовой заготовки в год.

Металл разливается со скоростью до 2,5 м/мин, имеется система электромагнитного перемешивания стали по ручьям, защита разливаемой струи стали под уровень.

В настоящее время в условиях ОАО «ММК» при комбинированном производстве стали и непрерывно-литой заготовки для изготовления проката в бунтах используется проволочный стан 170. Мелкосортно-проволочный стан «170», введенный в эксплуатацию в 2006 г., имеет производительность до 765 тыс. т в год и предназначен для производства катанки и круглого сортового проката диаметром от 5,0 до 22,0 мм, а также бунтовой арматуры малых диаметров 6-8-10-12-16 мм. Одним из главных потребителей продукции стана является метизный дивизион комбината – ОАО «ММК-МЕТИЗ». Сегодня стан производит прокат широкого назначения: от катанки диаметром 5,5 мм из легированной стали для изготовления сварочной проволоки, которая в т.ч. обеспечит необходимую прочность шва при сварке трубопроводов большого диаметра и из листа, производимого на стане 5000; до круглого проката диаметром 16 мм из высокоуглеродистой микролегированной стали для изготовления высокопрочной арматуры для железобетонных конструкций, в частности железобетонных шпал нового поколения. При этом существует ряд проблем с обеспечением необходимой прочности проволоки и канатов после переработки в метизном переделе. Одной из них является недостаточная мощность установленных воздушных вентиляторов линии Стелмор двуниточного стана 170 для обеспечения сорбитизированной структуры проката (не обеспечивается необходимая скорость охлаждения, проработка структуры металла по сечению, однородность формирования структуры и свойств проката по длине витка) и поэтому переработка проката на метизном переделе начинается с технологической операции – патентирования, что снижает ТЭП метизного производства и является несовременной технологической схемой производства

высокопрочных ста-билизованных проволоки для армирования железобетонных шпал по новой технологии и арматурных канатов.

Высокоуглеродистая проволока массово применяется в промышленности при изготовлении канатов, пружин, арматуры для предварительно напряженного железобетона, металлокорда и т.д. Эти изделия являются ответственными деталями сложных машин и конструкций, в связи с чем повышение конкурентоспособности этой проволоки, определяемой рациональным соотношением качества и цены, является сегодня актуальной задачей. Технологический процесс изготовления высокоуглеродистой проволоки включает в себя операции подготовки структуры и поверхности к деформации, холодную пластическую деформацию, специальные и отделочные операции. Основным способом обработки металлов давлением, применяемым при изготовлении проволоки, на сегодняшний день является волочение в монолитных волоках. Основной проблемой при производстве проволоки из высокоуглеродистых марок стали, и по сегодняшний день, остается обеспечение ее достаточной пластичности при повышении прочности металла в процессе деформационного упрочнения стали. Существующая технология производства высокоуглеродистой проволоки не всегда позволяет получать проволоку с одновременно высокими прочностными и пластическими свойствами, и достаточно часто высокопрочная проволока отсортировывается именно из-за преждевременной потери пластичности и ее разрушения.

Свойства проволоки формируются в очаге деформации и зависят от его параметров, которые, в свою очередь, определяют и энергетические затраты на осуществление процесса. Зависимости эти многофакторные, а действие факторов на характеристики качества и затраты зачастую противоположны. При выборе технологических режимов изготовления проволоки необходимо в первую очередь гарантировать получение качественной продукции, а выполнив это условие, минимизировать энергосиловые затраты на процесс. Все это предопределяет сложность управления технологическим процессом изготовления проволоки и выбора рациональных режимов, обеспечивающих получение проволоки заданного уровня качества при снижении затрат на ее изготовление. Негативными металлургическими факторами, снижающими технологичность переработки проката на метизном переделе, являются грубодисперсная структура перлита и неравномерное распределение перлитной структуры по сечению проката, наличие мартенситных и цементитных участков, недеформирующихся неметаллических включений, поверхностных дефектов: раскатанных газовых пузырей, трещин, загрязнений.

Настоящая статья посвящается анализу существующей и разработке эффективной сквозной технологии производства стали марки 80P, ее внепечной обработке и разливки, прокатки непрерывно-литого слитка на проволочном стане, термической обработки проката на линии Стелмор в условиях ОАО «ММК», а также совершенствованию техпроцесса на метизном

переделе в условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ». Поэтому ниже рассмотрены особенности технологии по переделам, выявлены «узкие» места и скорректированы технологические режимы, обеспечивающие в комплексе существенное улучшение качество проката и метизов и повышение технологичности переработки металла на последующих переделах.

Сталеплавильный передел

Химический состав высокоуглеродистой стали марки 80P, ранее согласованный в трехстороннем порядке (ОАО «ММК», ОАО «ММК-МЕТИЗ», ОАО РЖД «Бетонные элементы транспорта» (ОАО «БЭТ»)), представлен в табл. 1.

Химический состав стали марки 80P

Компонент	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	N	Ti	Al	B
Требования ТС 14-101- 841-2010	0,77- 0,82	0,20- 0,37	0,50- 0,80	не более							0,010- 0,030	0,001- 0,003
				0,020	0,030	0,10	0,10	0,10	0,008	0,005		

Базовая технология производства стали заключается в следующем.

Перед выплавкой стали марки 80P (в ходе подготовки ферросплавов и сыпучих материалов к плавке) отбираются пробы от всех материалов, используемых для раскисления – легирования металла во время выпуска плавки и внепечной обработки, для определения содержания влаги, которое не должно превышать 1%. При необходимости прогревают кремний- и марганецсодержащих материалы перед их присадкой в сталковш ДСП и АПК. Выплавка стали проводится в ДСП или ДСА с «горячей» футеровкой, с расходом жидкого чугуна в ДСП не менее 100 т, а на ДСА – не менее 160 т, причем в качестве металлического лома используется «чистая» прокатная обрезь. Науглераживание металла производится с использованием жидкого чугуна в количестве 20-25 т/плавку, а на выпуске допускается применять твердые науглераживатели, такие как графит, электродный бой и т.д. Выпуск металла производится в горячий сталеразливочный ковш с исключением попадания в него печного шлака. Для раскисления металла на выпуске используется алюминий первичный из расчета на ДСП – 130-150 кг, на ДСА – 150-180 кг. Наведение шлака в ковше на АПК проводится синтетическими плавными смесями, а также допускается использовать свежееобожженную известь в количестве 1,5 т, плавикового шпата не менее 400 кг.

В начале внепечной обработки проводится раскисление металла алюминиевой проволокой из расчета получения содержания алюминия по верхнему пределу. Раскисление шлака в ковше проводится чушковым алюминием или карбидом кремния до получения белого шлака в ковше. Получение в металле заданного содержания углерода, марганца и кремния проводится после получения белого шлака в ковше. Для науглераживания используются углеродсодержащие материалы с содержанием углерода не менее

99% и летучих не более 0,5%, также допускается использование порошковой проволоки с углеродом для корректировки его содержания. После наведения шлака в ковше и получения заданного содержания серы в ковш присаживается сухой кварцевый песок в количестве 700-1000 кг. После получения в металле заданных пределов содержания углерода, марганца, кремния и алюминия при глубоко раскисленном металле производится микролегирование бором. По завершении обработки металла проводится «мягкая» продувка металла аргоном по следующей технологии: устанавливается минимальный расход аргона на пористые пробки, визуально обеспечивающий слабое волнение поверхности расплава, проводится продувка

Таблица 1

металла аргоном продолжительностью не менее 3 мин, проводится ввод расчетного количества в зависимости от содержания в стали алюминия феррокальциевой порошковой проволоки для повышения жидкотекучести стали при непрерывной разливке. По окончании обработки плавки кальцием проводится «мягкая» продувка плавки

продолжительностью не менее 5 мин. Нагрев плавки, а также ввод алюминия и ферросплавов во время или после обработки металла кальцием и проведения «мягкой» продувки запрещается. В случае необходимости корректировки химического состава металла или его температуры после обработки кальцием и проведения мягкой продувки необходимо повторно провести обработку металла «мягкой» продувкой. При обработке стали марки 80P отношение Ca/Al в ковшевой пробе должно быть 0,1-0,3, для чего расход проволоки с феррокальцием на АПК должен составлять 600-900 кг/плавку для обеспечения жидкотекучести стали при непрерывной разливке.

Разливка стали проводится закрытой струей (защита металла от вторичного окисления) через промковш переклазохромитового состава с применением электромагнитного перемешивания (ЭМП), снижающим протяженность развития зоны столбчатых кристаллов (ЗСК). Первыми в серии разливаются промывочные плавки из стали марок 75-80 для снижения количества экзогенных неметаллических включений (НВ) в стали.

Отгрузка заготовок производится после охлаждения в период с мая по октябрь – в плотном штабеле до температуры поверхности заготовок менее 100°C и с ноября по апрель – в томильном коробе для обеспечения условий для удаления диффузионно-подвижного водорода и предотвращения межкристаллитного разрушения.

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

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

2. Массовая доля алюминия в стали составляет по НД 0,01-0,03% для раскисления стали. Это неэффективно, так как сталь значительно загрязняется недеформируемыми, вязкими и тугоплавкими окислами

алюминия, приводящими к обрывности проволоки при ее волочении.

3. Повышенное содержание в стали кремния и низкое отношение марганца к кремнию (соответственно НД нормирует массовую долю марганца на уровне 0,50-0,80%, кремния 0,20-0,37% и при целевом попадании в средние значения указанных диапазонов содержания марганца и кремния отношение марганца к кремнию составляет зачастую менее 2 (желательно не менее 3). Высокое содержание в стали кремния и алюминия приводит к формированию в стали НВ алюмосиликатного типа и снижает технологическую деформируемость проката на метизном переделе.

4. В стали на АПК наблюдается в конце обработки достаточно высокое содержание водорода – до 5 ppm, обуславливает повышенную дефектность непрерывно-литой заготовки по НВ и явление водородного охрупчивания стали.

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

С целью частичного устранения указанных недостатков нами было предложено снизить нормативное содержание в стали алюминия – не более 0,005%, обеспечить отношение марганца к кремнию на уровне не менее 2,5-3,0 ($Mn = 0,65-0,70\%$, $Si = 0,20-0,22\%$), модифицировать сталь кальцием в рациональных количествах как наиболее дешевым материалом по сравнению, например, с редкоземельной лигатурой.

Для определения эффективности исключения обработки стали алюминием, снижения в стали массовых долей кремния были выплавлены четыре экспериментальные плавки (1-4) и одна контрольная плавка (5) из стали 80Р. Химический состав и информация о технологичности переработки на метизном переделе и у изготовителей железобетонных шпал приведены в табл. 2.

Анализ данных табл. 2 показывает, что исключение обработки стали алюминием с одновременным повышением отношения марганца к кремнию, а именно обеспечение массовой доли алюминия на фоновом уровне 0,002 вместо 0,010% и соответственно отношения марганца к кремнию 2,5-2,9 вместо не более 2,4, при одном и том технологическом режиме прокатки, термообра-

ботки на линии Стелмор и последующем переделе (метизном и на ЖБШ), обусловило снижение обрывности при волочении проволоки с 0,34 до 0,12-0,02 т⁻¹, то есть в 2,8-17 раз. Эти результаты подтверждают высокую эффективность предложенной технологии.

Прокатный передел

Наряду с обеспечением высокого качества непрерывно-литой заготовки по чистоте стали от неметаллических включений, дефектности поверхности, низкому уровню развития зональной и микрофизической – дендритной ликвации, повышение однородности перлитной структуры высокой дисперсности является гарантией высокой деформируемости проката при волочении и последующей переработки сорбитизированной проволоки в арматуру железобетонных шпал нового поколения, арматурные канаты и другие виды проволоки продукции. Металловедческая гарантия [1] формирования пластинчатого перлита высокой дисперсности – сорбитообразного перлита заключается в регламентируемом охлаждении проката с рациональными температурой аустенитизации и скоростью до температурной области сорбитного превращения. Выбор режимов аустенитизации проката и последующего его охлаждения на линии Стелмор обоснован на построенной термокинетической диаграмме (ТКД) для стали типа 80Р и закономерностях распада аустенита при непрерывном охлаждении [2,3], согласно которым межпластинчатое расстояние в перлите подчиняется параболической зависимости. Максимальное межпластинчатое расстояние (малопластинчатого грубодисперсного перлита) формируется при температурах аустенитизации (температуры виткообразования на линии Стелмор) в диапазоне 830-880°C. Оптимальная структура сорбитообразного перлита может быть получена при температурах как ниже, так и выше этого температурного диапазона. Однако при температурах ниже 830°C кроме постепенного увеличения дисперсности перлита формируется также вследствие высокой скорости водяного охлаждения структура отпущенного сорбита, обуславливающего развитие поверхностных микротрещин и обрывность такого металла при волочении.

Таблица 2

Химический состав опытных и контрольных партий проката и технологичность его переработки на метизном переделе и заводах железобетонных шпал (ЖБШ)

Номер плавки / партий	Массовая доля химических элементов, %						Обрывность на	
	C/Mn	Si/Mn:Si	P/S	Cr/Ni	Cu/Al	N/B	метизном переделе, т ⁻¹	ЖБШ, %
1 – опытная партия	0,80/0,66	0,23/2,87	0,008/0,010	0,04/0,02	0,03/0,002	0,005/0,0013	0,12	Нет св.
2 – опытная партия	0,78/0,70	0,28/2,5	0,009/0,003	0,04/0,03	0,04/0,002	0,005/0,0017	0,04	Нет св.
3 – опытная партия	0,80/0,69	0,24/2,9	0,005/0,006	0,05/0,02	0,03/0,002	0,005/0,0026	0,02	Нет св.
4- опытная партия	0,80/0,70	0,26/2,7	0,005/0,005	0,04/0,03	0,03/0,002	0,006/0,0018	0,019	Нет св.
5 – контрольная партия	0,80/0,67	0,28/2,39	0,011/0,005	0,05/0,02	0,03/0,010	0,006/0,0018	0,20	0,053

Примечание. Обрывность на метизном переделе и ЖБШ приведена для металла, произведенного по следующему режиму двустадийного охлаждения проката на линии Стелмор: температура металла при виткообразовании – 840-880°C, скорость роликового транспорта витков – 0,15 м/с, вентиляторы отключены.

При температурах выше 880°C степень дисперсности перлита резко увеличивается с повышением температуры, оптимальный диапазон температур составляет 950-1000°C. Недостаток этого диапазона температур заключается в том, что при температуре близкой и выше 1000°C вероятно образование на поверхности проката неудовлетворительной стеклообразной окалины с фаялитом (Fe_2SiO_4), которая фактически не удаляется с поверхности перед волочением ни химическим, ни механическим способом. Поэтому наиболее приемлемый диапазон температуры аустенитизации (виткообразования) составляет 950-980°C. При этом на поверхности проката формируется повышенное количество воздушной окалины – в среднем до 8 кг/т, вместо 2-3 кг/т при низких температурах (880°C).

Повышенное значение температуры аустенитизации формирует однородное, достаточно крупное зерно аустенита, свободное от пленочных выделений ССФ и ССЦ, обуславливает формирование низкий уровень обезуглероживания поверхности [4, 5].

Исходя из принципа получения конечной наилучшей структуры проката для безобрывного волочения, необходимо выбрать технологию с высокой температурой аустенитизации (виткообразования).

Обязательным условием формирования сорбитообразного перлита после водяного охлаждения проката на линии Стелмор и получения оптимальной температуры сорбитизации является воздушное охлаждение со скоростями 20-25°C/с.

Поэтому, основываясь на вышеуказанном, в конкретных производственных условиях предложено увеличить температуру виткообразования, как минимум, до 920-930 вместо 840-880°C (по технологической инструкции и рекомендациям фирмы Даниели – поставщика оборудования) для максимальной сорбитизации перлитной структуры; скорость роликового транспортера витков – 0,5-0,8 м/с (в дальнейшем, по возможности, – до 1,0-1,2 м/с) для получения однородности структуры и свойств витков проката за счет равномерного обдува металла вентиляторным воздухом: в работе все 14 вентиляторов на максимальной мощности. Для исключения на метизном переделе операции патентирования рекомендуется модернизация линии Стелмор стана 170 ОАО «ММК».

На семи плавках (1-7) были опробованы предложенные режимы (табл. 3), металлографический анализ показал, что по сравнению с резко неоднородной структурой проката диаметром 15,5-16,0 мм, произведенной по схеме 1 обработки на линии Стелмор ММК ($t_{в/у} = 840-880^\circ\text{C}$, $V_{тр} = 0,15$ м/с, в работе 14 вентиляторов) и улучшенной технологической схемой 2 ММК ($t_{в/у} = 840-880^\circ\text{C}$, $V_{тр} = 0,15$ м/с, все вентиляторы отключены – фактически это режим прокатной нормализации), опытный режим ($t_{в/у} = 900-940^\circ\text{C}$, $V_{тр} = 0,5-0,8$ м/с, в работе 14 вентиляторов с максимальной нагрузкой) характеризуется максимальной однородностью структуры, высокой дисперсностью перлита: межпластинчатое расстояние в перлите по режимам

соответственно составило 0,28 мкм при прокатной нормализации, 0,23 мкм при скорости транспортера 0,5 м/с и повышенной температурой виткообразования и охлаждении вентиляторами, 0,15 мкм при скорости транспортера 0,8 м/с и повышенной температурой виткообразования и охлаждении вентиляторами.

Наблюдается различие в дисперсности перлита – количестве перлита 1 и 2 балла по ГОСТ 8233-56 на поверхности и в сердцевине поперечного сечения проката. Эта разница составляет на опытном металле температуру виткообразования (после виткоукладчика) $t_{в/у} = 900-940^\circ\text{C}$, скорость роликового транспортера витков $V_{тр} = 0,5$ м/с, 14 вентиляторов в работе – с 1 по 10 вентилятор на второй ступени, с 11 по 14 вентилятор на 80% загрузке, 15 вентилятор выключен) до 10%, для контрольных партий ($t_{в/у} = 840-880^\circ\text{C}$, $V_{тр} = 0,15$ м/с, вентиляторы в работе) – до 40%.

И хотя свойства нормализованного и опытного проката очень близки, перспектива опытного режима очевидна, и надо полагать, что с усовершенствованием режима воздушного охлаждения витков проката на роликовом транспортере за счет модернизации системы вентиляторного охлаждения станет возможным производить прокат с высокой степенью сорбитизации перлитной структуры, что позволит отказаться от термической обработки проката – патентирования на метизном переделе, то есть исключить один передел с перспективой выхода на мировой рынок с сорбитизованным прокатом из высокоуглеродистых марок стали для переработки в высокопрочные арматурные канаты, проволоку, заготовку для шпал нового поколения и т.п.

Высокую эффективность опытных режимов доказывает снижение обрывности на метизном переделе и на ЗЖБШ.

Заключение

1. Проведенное усовершенствование технологического процесса производства стали, ее внепечной обработки позволили существенно улучшить технологичность переработки круглого проката на метизном переделе. Так, за счет сталеплавильного передела обрывность при волочении высокоуглеродистой проволоки снизилась с 0,34 до 0,10 т⁻¹.

2. На повышение деформируемости проката при волочении повлияло также внедрение новой технологии двустадийного охлаждения на линии Стелмор, формирующей более равномерную микроструктуру проката, доленое влияние на обрывность при волочении составило примерно 50%: обрывность опытных партий проката составило 0,01 т⁻¹ по сравнению с 0,04 т⁻¹ на контрольных партиях.

3. Для дальнейшего улучшения качества высокоуглеродистой стали и проката имеет смысл исследовать и внедрить еще ряд технико-технологических операций. К ним можно отнести: выбор оптимальных режимов работы ЭМП, применение модифицирования расплава перед или в процессе непрерывной разливки, реконструкция линии Стелмор и т.д.

Таблица 3

Сравнение качественных показателей проката, произведенных по опытным-экспериментальным режимам, с контрольными партиями проката, произведенных по ранее утвержденным режимам

Номер плавки, диаметр, мм	Режим			Механические свойства, мин.- макс./разбег/среднее значения			Металлографические показатели				Обрывность на		
	t _{в/у} , °C	v _{тр} , м/с	Венти- ляторы*	σ _в , Н/мм²	δ ₁₀ , %	Ψ,%	Дисперсность перлита, П 1 и 2 баллов по ГОСТ 8233-56,%				Размер зерна по ГОСТ 5639-82, №	метизном переделе	ЗЖБШ
							мини- мальное	макси- мальное	разбег	сред- нее			
1 – опытная партия, 16 мм	910-925	0,5 (10 бунтов)- 0,8 (5 бунтов)	+	1010- 1050/ 40/1023	10-12,5/ 2,5/ 10,8	28-32/ 4/30	50	50	0	50	7-8	0,11	0
1 – контроль- ная партия, 16 мм	840-880	0,15	-	1010- 1050/40/1 033	9-10,5/1,5/ 9,7	27-28/1/ 27,3	50	50	0	50	7-8	0,12	Нет св.
2 – опытная партия, 16 мм	900-940	0,5	+	1000- 1010/ 10/1003	8,4-9,4/ 1/ 8,9	26-28/2/ 27	65	65	0	65	7-8	0	0,011
2 – контроль- ная партия, 16 мм	840-880	0,15	-	1000- 1020/ 20/1007	8,8-12/ 3,2/ 10,1	25-33/8/ 27,3	60	60	0	60	7-8	0,04	0,034
3 – опытная партия, 16 мм	900-940	0,5	+	1020- 1050/ 30/1033	8-9,5/ 1,5/ 8,8	26-32/6/ 28,3	65	65	0	65	7-8	0	Нет св.
3 – контроль- ная партия, 16 мм	840-880	0,15	-	960-1020/ 60/992	9,1-11,5/ 2,4/ 10,6	24-32/8/ 27,7	60	70	10	65	7-8	0,02	Нет св.
4 – опытная партия, 16,0 мм	900-940	0,5	+	990-1040/ 50/ 1017	8,1-11,4/ 3,3/ 9,9	29-31/ 2/ 29,7	65	65	0	65	7-8	0	0,015
4 – контроль- ная партия, 16,0 мм	840-880	0,15	-	950-1000/ 50/ 978	11,5-12,5/ 1/ 12	26-32/ 6/ 30,5	70	75	5	72,5	7-8	0,019	Нет св.
6 – опытная партия, 16,0 мм	910-915	0,5	+	1040- 1070/30/ 1060	8-10,5/ 2,5 9,7	28-33/ 5/29,7	50	50	0	50	7-8	0,10	Нет св.
6 – контроль- ная партия, 16,0 мм	820-860	0,15	-	990-1070/ 80/1023/	9,5-12/ 2,5/10,8	27-39/ 12/ 32,7	60	60	0	60	7-8	0,20	Нет св.
7 – опытная партия, 16,0 мм	910-915	0,5	+	980- 1040/60/ 1020	9-12/ 3,0 11	28-34/ 6/32	50	50	0	50	7-8	0,10	Нет св.
7 – контроль- ная партия, 16,0 мм	820-860	0,15	-	980-1080/ 100/1026	9-14,5/ 5,5 10,7	28-33/ 5/24,7	60	60	0	60	7-8	0,20	Нет св.

*(+) – в работе все вентиляторы, (-) – вентиляторы отключены.

Список литературы

- Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1977. 648 с.
- Парусов Э.В., Парусов В.В., Евсюков М.Ф., Сивак А.И., Сычков А.Б. Режим двустадийного охлаждения катанки из стали 80КРД на линии Стелмор // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2006. №3. С. 64-67.
- Парусов Э.В., Парусов В.В., Сагура Л.В., Сивак А.И., Клименко А.П., Сычков А.Б. Разработка режима двустадийного охлаждения катанки из стали С80Д2, легированной бором и ванадием // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2011. №3. С. 53-56.
- Парусов В.В., Сычков А.Б., Парусов Э.В. Теоретические и технологические основы производства высокоэффективных видов катанки. Днепропетровск: Арт-Пресс, 2012. 376 с.
- Сычков А.Б. Технологические аспекты производства качественной катанки // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2006. № 4 (16). С. 63-69.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

IMPROVEMENT OF THE ROLLING COILS STEEL 80R IN JSC «MMK»

Korchunov A.G., Bigeev V.A., Sychkov A.B., Zaitsev G.S., Ivin Y.A., Dziuba Y.A.

Abstract. The paper analyzes the characteristics of cross-cutting technology of the making high carbon steel, its secondary metallurgy, continuous casting, rolling coils and heat treatment it on line two-stage cooling of the mill 170. Found that the design flaws cause a number of problems on virtually all stages. A number of technological methods to improve the quality of steel continuously cast billets, rolled products,

namely the exclusion of aluminum as a deoxidizer and its replacement by calcium containing material feed-my, mostly in the form of a powder wire in stages disabilities portions, resulting in increase in the purity of the steel from non-deformable inclusions (HB) oxides of aluminum, which greatly increased silo-technological processing of the rental at drawing, some increase of manganese content in steel and reduced sili-

con. With two-stage cooling the steel laid out on the turns, it is proposed to increase the speed of the protractor-tion coils of wire rod, thus providing with intense fan-cooled high uniformity of the structure and properties of the metal along the turn and coil. To get by extremely uniform structure and mechanical properties of steel Buntova for processing into wire, stabilized reinforcing wire for concrete sleepers new-generation for high-speed railways and stabilized reinforcing ropes high strength with low stress relaxation in exploitation, proposed the concept of reconstruction of the line to ensure the regime Stelmor isothermal processes patenting and recrystallization annealing.

Keywords: technology, quality, structure, properties, uniformity of the qualitative parameters, Stelmor line, reconstruction, patenting, stream recrystallization annealing, the isotherm.

References

1. Gulyaev A.P. *Metallovedenie*. [Metallography]. Moscow, Metallurgy, 1977, 648 p.
2. Parusov E.V., Parusov V.V., Evsyukov M.F., Sivak A.I., Sychkov A.B.

Rezhim dvustadijnogo ohlazhdenija katanki iz stali 80KRD na linii Stelmor. [Mode two-stage cooling of steel wire rod 80KRD line Stelmor]. *Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost'*. [Metallurgical and Mining Industry], 2006, no.3, pp. 64-67.

3. Parusov E.V., Parusov V.V., Sagura L.V., Sivak A.I., Klimenko A.P., Sychkov A.B. Razrabotka rezhima dvustadijnogo ohlazhdenija katanki iz stali S80D2, legirovannoj borom i vanadiem. [Development of two-stage cooling mode rod C80D2 steel, alloyed with boron and vanadium]. *Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost'*. [Metallurgical and Mining Industry], 2011, no.3, pp. 53-56.
4. Parusov V.V., Sychkov A.B., Parusov E.V. *Teoreticheskie i tehnologicheskie osnovy proizvodstva vysokojeffektivnyh vidov katanki*. [Theoretical and technological basis of the production of high-performance wire rod]. Dnepropetrovsk: Art Press, 2012. 376 p.
5. Sychkov A.B. *Tehnologicheskie aspekty proizvodstva kachestvennoj katanki*. [Technological aspects of the production of high-quality wire rod]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov], 2006, no.4 (16), pp. 63-69.

УДК 621.774.37:539.319

Колмогоров Г.Л., Снигирева М.В., Чернова Т.В.

ЭНЕРГОСИЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ ТРИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ

Аннотация. В работе предлагается методика расчета энергосиловых характеристик при волочении триметаллической заготовки. Определяются напряжения в отдельных слоях триметаллической заготовки и суммарные напряжения волочения. Определяется оптимальная геометрия волочильного инструмента, включающая основные параметры технологического процесса.

Ключевые слова: волочение, триметаллическая заготовка, сверхпроводник, оптимизация.

В технологиях обработки металлов давлением широкое применение находит процесс волочения, заключающийся в протягивании заготовки через конический канал технологического инструмента (рис. 1). При волочении большую роль играет угол наклона образующей инструмента к оси волочения α_b , определяющий энергосиловые параметры процесса волочения. При этом актуальным является определение оптимальных значений угла α_b , обеспечивающих минимальные значения напряжения волочения.

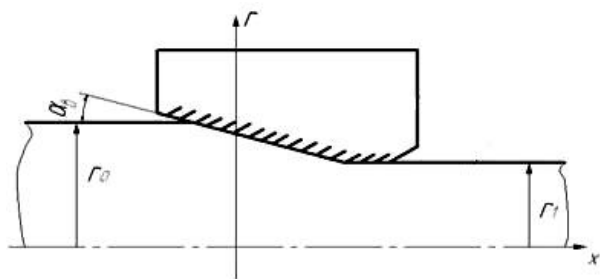


Рис. 1. Схема деформирования композитной заготовки в конической матрице.

В работе [1] предложена формула для определения напряжения волочения прутковых изделий:

$$\sigma_{\text{вол}} = \left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_b \right) \left[\sigma_s + f \operatorname{tg} \alpha_{\Pi} (\sigma_s - \sigma_q) \right] + \sigma_q, \quad (1)$$

где $\lambda = F_0 / F_1$ – вытяжка при волочении; F_0 и F_1 – площади сечения заготовки до и после прохода соответственно; α_b – угол наклона образующей инструмента к оси волочения; α_{Π} – приведенный угол волоки $\operatorname{tg} \alpha_{\Pi} = 0,65 \operatorname{tg} \alpha_b$ [2]; σ_s – среднее по зоне деформации сопротивление деформации протягиваемого материала; f – коэффициент трения в зоне деформации; σ_q – напряжение противонапряжения. В отличие от известной формулы И.Л. Перлина [2] формула (1) учитывает деформацию сдвига на входе в волочильный инструмент и на выходе из него.

Формула (1) использована для волочения триметаллической сверхпроводящей композиционной заготовки (рис. 2) отдельно для центральной части, промежуточного слоя и внешней оболочки.

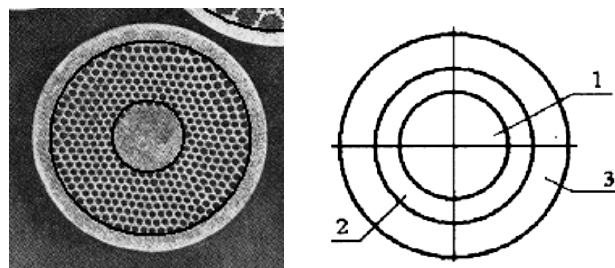


Рис. 2. Схематизация конструкции сверхпроводника в виде триметалла: 1 – сердечник; 2 – промежуточный слой; 3 – оболочка

Рассмотрим деформацию сверхпроводниковой заготовки, состоящей из трех слоев: центрального токо-стабилизирующего сердечника, сверхпроводящего промежуточного слоя и токостабилизирующей наружной оболочки (см. рис. 2). Напряжение волочения при деформации центрального сердечника

$$\sigma_{\text{вол}} = \left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_{\text{в}} \right) \sigma_{s1} + \sigma_q. \quad (2)$$

Соответственно усилие, обеспечивающее пластическую деформацию центральной части:

$$P_1 = F_1 \left[\left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_{\text{в}} \right) \sigma_{s1} + \sigma_q \right], \quad (3)$$

где σ_{s1} – сопротивление деформации центральной части сверхпроводника; F_1 – площадь сердечника на выходе.

Аналогично напряжение волочения при деформации промежуточного слоя, обеспечивающего сверхпроводящие свойства

$$\sigma_{\text{вол}} = \left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_{\text{в}} \right) \sigma_{s2} + \sigma_q. \quad (4)$$

Соответственно усилие, обеспечивающее пластическую деформацию сверхпроводящей части заготовки:

$$P_2 = F_2 \left[\left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_{\text{в}} \right) \sigma_{s2} + \sigma_q \right], \quad (5)$$

где σ_{s2} – сопротивление пластической деформации трансверсально-изотропной сверхпроводящей части, определяемой по правилу смеси для волокон Nb-Ti в медной матрице и волокон Nb в бронзовой матрице. F_2 – площадь промежуточного слоя на выходе.

Для внешней оболочки, находящейся в контакте с волочильным инструментом

$$\sigma_{\text{вол}} = \left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_{\text{в}} \right) \times \left[\sigma_{s3} + \operatorname{fctg} \alpha_{\text{п}} (\sigma_{s3} - \sigma_q) \right] + \sigma_q. \quad (6)$$

Соответственно доля усилия, обеспечивающего пластическую деформацию оболочки сверхпроводниковой триметаллической заготовки:

$$P_3 = F_3 \left[\left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_{\text{в}} \right) \left[\sigma_{s3} + \operatorname{fctg} \alpha_{\text{п}} (\sigma_{s3} - \sigma_q) \right] + \sigma_q \right], \quad (7)$$

где σ_{s3} – сопротивление деформации материала оболочки сверхпроводника; F_3 – площадь оболочки на выходе.

Окончательное полное усилие пластической деформации при волочении триметаллической сверхпроводящей композиционной заготовки равно сумме

соотношений (5), (6), (7) и составит:

$$P = \left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_{\text{в}} \right) \times \left[F_1 \sigma_{s1} + F_2 \sigma_{s2} + F_3 \sigma_{s3} + \operatorname{fctg} \alpha_{\text{п}} (\sigma_{s3} - \sigma_q) F_3 \right] + \sigma_q (F_1 + F_2 + F_3). \quad (8)$$

Данному усилию соответствует усредненное по сечению значение сверхпроводниковой композиционной заготовки напряжение волочения:

$$\sigma_{\text{в}} = \left(\ln \lambda + \frac{4}{3\sqrt{3}} \operatorname{tg} \alpha_{\text{в}} \right) \times \left[\overline{F}_1 \sigma_{s1} + \overline{F}_2 \sigma_{s2} + \overline{F}_3 \sigma_{s3} + \operatorname{fctg} \alpha_{\text{п}} (\sigma_{s3} - \sigma_q) \overline{F}_3 \right] + \sigma_q, \quad (9)$$

где $\overline{F}_1 = \frac{F_1}{F}$, $\overline{F}_2 = \frac{F_2}{F}$, $\overline{F}_3 = \frac{F_3}{F}$ – относительные площади сечения каждого из слоев, составляющих триметаллическую сверхпроводящую композиционную заготовку.

Данная формула позволяет определить оптимальные углы конусности волочильного инструмента из условия минимума напряжения волочения, которое записывается в виде

$$\frac{\partial \sigma_{\text{в}}}{\partial \operatorname{tg} \alpha_{\text{в}}} = 0. \quad (10)$$

Продифференцировав выражение (9) согласно условию (10), после преобразований получим уравнение для определения оптимального значения $\operatorname{tg} \alpha_{\text{в}}$:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{в}}^{\text{опт}} = 1.41 \sqrt{\frac{\ln \lambda f (\sigma_{s3} - \sigma_q) \overline{F}_3}{\sigma_{s1} \overline{F}_1 + \sigma_{s2} \overline{F}_2 + \sigma_{s3} \overline{F}_3}}, \quad (11)$$

соответственно

$$\alpha_{\text{в}}^{\text{опт}} = \arctg \left[1.41 \sqrt{\frac{\ln \lambda f (\sigma_{s3} - \sigma_q) \overline{F}_3}{\sigma_{s1} \overline{F}_1 + \sigma_{s2} \overline{F}_2 + \sigma_{s3} \overline{F}_3}} \right]. \quad (12)$$

Учитывая, что для большинства случаев характерно отсутствие противонапряжения ($\sigma_q = 0$), оптимальный угол будет определяться следующим образом:

$$\alpha_{\text{в}}^{\text{опт}} = \arctg 1.41 \sqrt{\frac{f \sigma_{s3} \overline{F}_3 \ln \lambda}{\sigma_{s1} \overline{F}_1 + \sigma_{s2} \overline{F}_2 + \sigma_{s3} \overline{F}_3}}. \quad (13)$$

При изготовлении триметаллических сверхпроводников внешнюю оболочку и сердечник обычно выполняют из одного материала (Cu), а промежуточный слой – из NbTi либо из Nb, можно ввести ряд упрощений в формулу (13).

При $\sigma_{s3} \cong \sigma_{s1}$ имеем:

$$\alpha_{\text{в}}^{\text{опт}} = \arctg \left[1.41 \sqrt{\frac{\ln \lambda \bar{F}_3}{(\bar{F}_1 + \bar{F}_3) + \frac{\sigma_{s2}}{\sigma_{s3}} \bar{F}_2}} \right]. \quad (14)$$

По полученной формуле рассчитаны значения оптимальных углов волокна при заданных значениях коэффициента внешнего трения, коэффициента вытяжки ($\lambda = 1.15$) и приведенных площадей поперечного сечения триметаллического проводника.

На рис.3 показаны результаты расчета оптимальных углов конусности волочильного инструмента в зависимости от значения отношения $\frac{\sigma_{s2}}{\sigma_{s3}}$.

Из рис. 3 следует, что с увеличением значения отношения $\frac{\sigma_{s2}}{\sigma_{s3}}$, значения оптимальных углов уменьшаются, уменьшение коэффициента трения за счет улучшения условия смазки приводит к снижению оптимальных углов.

Заключение

1. В работе определены оптимальные углы наклона образующей конического волочильного инструмента к оси волочения.
2. Знание оптимального угла обеспечивает сни-

жение напряжения волочения, что позволяет снизить энергозатраты, повысить единичные обжатия и стойкость технологического инструмента.

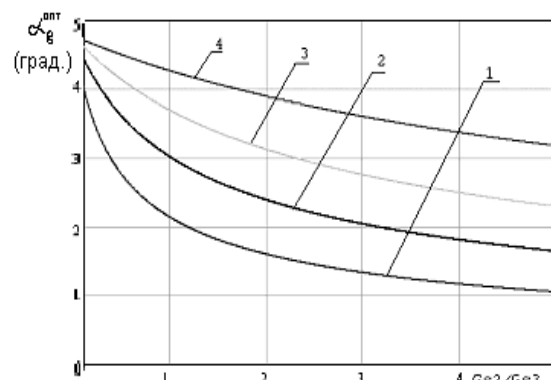


Рис. 3. Оптимальные углы конусности волочильного инструмента для коэффициента трения $f = 0.05$:

- 1 — $\bar{F}_1 = \bar{F}_3 = 0.1, \bar{F}_2 = 0.8$; 2 — $\bar{F}_1 = \bar{F}_3 = 0.2, \bar{F}_2 = 0.6$;
3 — $\bar{F}_1 = \bar{F}_3 = 0.3, \bar{F}_2 = 0.4$; 4 — $\bar{F}_1 = \bar{F}_3 = 0.4, \bar{F}_2 = 0.2$

Список литературы

1. Колмогоров Г.Л., Чернова Т.В., Снигирева М.В. О предельных деформациях при производстве композиционных сверхпроводниковых изделий // Механика композиционных материалов и конструкций. 2010. Т.16, №2. С. 191-196.
2. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения. М.: Металлургия, 1972. 448 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

ENERGY-POWER CHARACTERISTICS AT DRAWING THREEMETAL BILLET

Kolmogorov G.L., Snigireva M.V., Chernova T.V.

Abstract. In work the design procedure energy-power characteristics is offered at drawing threemetal billet. Stress in separate layers threemetal billet and total stress of drawing are defined. The optimum geometry of the drawing tool including key parametres of technological process is defined.

Keywords: drawing, threemetal billet, superconductor, optimisation.

References

1. Kolmogorov G.L., Chernova T.V., Snigireva M.V. O predel'nyh deformacijah pri proizvodstve kompozicionnyh sverhprovodnikovyh izdelij. [Limit strains in the production of composite superconductor products]. [Mehanika kompozicionnyh materialov i konstrukcij. [Mechanics of Composite Materials and Structures]. 2010, vol.16, no.2, pp. 191-196.
2. Perlin I.L., Ermanok M.Z. Teorija volochenija [The theory of drawing]. Moscow, 1972, 448 p.

УДК 621.778.1.073

Славин В.С., Бричко А.Г.

МЕТОДИКА АНАЛИТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ГЕОМЕТРИИ ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ АРМАТУРНОЙ ПРОВОЛОКИ В КАЛИБРЕ СО СМЕЩЕННЫМИ ПАРАМИ РОЛИКОВ

Аннотация. Волочение в роликовых волоках находит все большее распространение при создании технологических процессов получения фасонных профилей и холоднотянутой арматурной проволоки. Однако определение энергосиловых параметров при их разработке представляет определенную сложность, связанную с аналитическим описанием линий калибра и их изменением по длине очага деформации. В работе на основе новых дополнительных параметров в виде геометрического центра калибра (ГЦК) и условного диаметра роликов получено уравнение формоизменения круглой заготовки при волочении арматурной проволоки в калибре со смещенными парами роликов.

Ключевые слова: волочение, роликовые волоки, условный диаметр роликов, калибр со смещенными парами роликов, очаг деформации, линия калибра.

Волочение в роликовых волокнах последнее время находит все большее распространение при создании технологических процессов получения фасонных профилей [1]. При этом получение холоднотянутой арматурной проволоки с повышенными физико-механическими свойствами без их использования практически невозможно.

При разработке новых технологических процессов получения изделий с повышенными требованиями к качеству и совершенствованию существующих важно не только определять энергосиловые параметры, но и знать распределение напряжений при формоизменении заготовки в ее сечениях. Однако их аналитическое определение без использования новых дополнительных параметров представляет определенную сложность, которая связана с описанием геометрии калибра.

Рассмотрим аналитическое описание геометрии очага деформации при волочении арматурной проволоки для предварительно напряженных железобетонных шпал в калибре со смещенными парами роликов, основанное на использовании новых дополнительных параметров в виде геометрического центра калибра (ГЦК) и условного диаметра роликов [2, 3]. Требования к геометрическим параметрам арматурной проволоки (рис. 1) приведены в таблице.

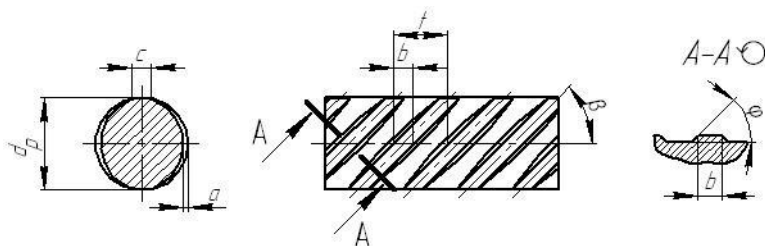


Рис. 1. Геометрические параметры арматурной проволоки

В соответствии с выбранной схемой деформации и рекомендациями по выбору дополнительных параметров в виде условного диаметра роликов D_y и геометрического центра калибра (ГЦК) [2] на схеме калибра со смещенными парами роликов (рис. 2) построим глобальную систему координат $Oxuz$ с началом, расположенным в плоскости калибра второй пары роликов, как показано на рисунке. Ось Oy направим перпендикулярно оси вращения верхнего ролика с горизонтальной осью вращения. При этом вторая пара роликов смещена относительно первой на расстояние l_e .

Значения геометрических параметров арматурной проволоки

d_p , мм	a , мм	b , мм	t , мм	c , мм	β , град	φ , град
$9,6^{+0,21}_{-0,15}$	$0,19^{\pm 0,03}$	$2^{\pm 0,5}$	$5^{0,5}$	≤ 2	45	45

Заготовка диаметром d_3 за счет прикладываемого усилия к переднему концу в направлении оси Oz сначала деформируется в гладком калибре первой пары роликов, оси вращения которых расположены верти-

кально. После чего переходит в калибр второй пары роликов с горизонтально расположенными осями вращения, в котором формируется готовый профиль периодического сечения. Для описания формоизменения заготовки в калибре клетки со смещенными парами роликов построим калибровку первой и второй пар роликов (рис. 3), обеспечивающую получение чистовых размеров гладких поверхностей готового изделия (см. рис 1) из заготовки диаметром d_3 .

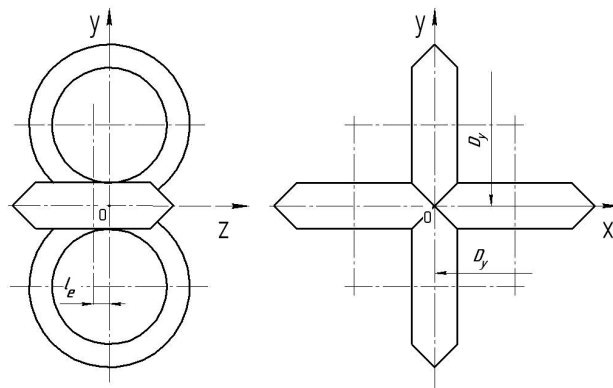


Рис. 2. Схема калибра со смещенными парами роликов

Каждая линия калибра $a_1b_1c_1d_1$ и $a_2b_2c_2d_2$ первой пары роликов (см. рис. 3) состоит из трех отрезков a_1b_1 , b_1c_1 и c_1d_1 правого ролика и трех отрезков a_2b_2 , c_2d_2 и b_2c_2 левого ролика, расположенных симметрично относительно оси Oy . При этом дуги b_1c_1 и b_2c_2 радиусом кривизны R_p с центром O , расположенным на оси Oz , обеспечивают получение чистового размера готового изделия диаметром d_p (см. таблицу).

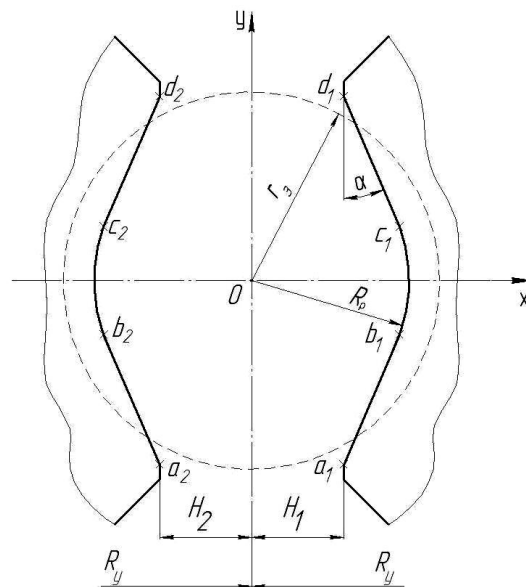


Рис. 3. Калибр первой пары роликов

По два прямых отрезка a_1b_1 , c_1d_1 , a_2b_2 и c_2d_2 каждого ролика, проведенные в виде касательных к дуге окружности под углом α к оси Oy , формируют предчистовые размеры профиля. Учитывая, что отрезки прямых линий проведены по касательной к окружности радиусом R_p чистового размера профиля, уравнения линий калибра первой пары роликов можно записать:

$$\begin{aligned} y &= \pm \sqrt{R_p^2 - x^2}, & x_{b_1} \leq x \leq x_{k_1}; \\ x_{k_2} \leq x \leq x_{b_2}; & \text{при } z = l_e; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} y &= \operatorname{ctg} \alpha x - \frac{R_p}{\sin \alpha}, & x_{a_1} \leq x \leq x_{b_1}; \\ \text{при } z = l_e; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} y &= -\operatorname{ctg} \alpha x + \frac{R_p}{\sin \alpha}, & x_{d_1} \leq x \leq x_{c_1}; \\ \text{при } z = l_e; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} y &= -\operatorname{ctg} \alpha x - \frac{R_p}{\sin \alpha}, & x_{b_2} \leq x \leq x_{a_2}; \\ \text{при } z = l_e; \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} y &= \operatorname{ctg} \alpha x + \frac{R_p}{\sin \alpha}, & x_{c_2} \leq x \leq x_{d_2}; \\ \text{при } z = l_e. \end{aligned} \quad (5)$$

При определении напряженно-деформированного состояния в очаге деформации необходимо знать не только описание линий калибра в его плоскости, но и их изменение по длине очага деформации в плоскостях сечений Oxy по оси Oz . Для этого можно воспользоваться уравнением, предложенным для описания деформирующих поверхностей [2]:

$$Z^2 + (Y_l - R_y)^2 = (R_y - \varphi_l(X_l))^2, \quad l = \overline{1, n}, \quad (6)$$

где R_y – условный радиус l -го ролика; $\varphi_l(X_l)$ – функция линии калибра l -го ролика в его плоскости.

Однако простая подстановка функции линий калибра приводит к получению достаточно сложных зависимостей. С целью упрощения решения задач воспользуемся этим уравнением (6) для определения координат характерных точек a_1^z , b_1^z , c_1^z , d_1^z , k_1^z , a_2^z , b_2^z , c_2^z , d_2^z и k_2^z , а также параметров радиусов кривизны R_1^z и R_2^z в плоскостях сечений Oxy по оси Oz . Геометрической особенностью этих точек является то, что при продольном волочении их координаты по оси Oy по длине очага деформации остаются постоянными. Тогда координаты характерных точек при $z < l_e$ можно записать:

$$\begin{aligned} a_1^z(x_{a_1^z}, y_{a_1}): & x_{a_1^z} = R_y - \sqrt{(R_y - H_1)^2 - (z - l_e)^2}; \\ y_{a_1} &= \operatorname{ctg} \alpha H_1 - \frac{R_p}{\sin \alpha}; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} b_1^z(x_{b_1^z}, y_{b_1}): & x_{b_1^z} = R_y - \sqrt{(R_y - R_p \cos \alpha)^2 - (z - l_e)^2}; \\ y_{b_1} &= -R_p \sin \alpha; \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} k_1^z(x_{k_1^z}, y_{k_1}(z)): & x_{k_1^z} = R_y - \sqrt{(R_y - R_p)^2 - (z - l_e)^2}; \\ y_{k_1} &= 0; \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} c_1^z(x_{c_1^z}, y_{c_1}): & x_{c_1^z} = R_y - \sqrt{(R_y - R_p \cos \alpha)^2 - (z - l_e)^2}; \\ y_{c_1} &= R_p \sin \alpha; \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} d_1^z(x_{d_1^z}, y_{d_1}): & x_{d_1^z}(z) = R_y - \sqrt{(R_y - H_1)^2 - (z - l_e)^2}; \\ y_{d_1} &= -\operatorname{ctg} \alpha H_1 + \frac{R_p}{\sin \alpha}. \end{aligned} \quad (11)$$

В силу симметричности расположения соответствующих характерных точек линий правого и левого роликов относительно оси координат Oy координаты левого ролика не приведены, так как координаты по оси Oy будут одинаковы, а координаты по оси Ox будут иметь противоположный знак. Зная координаты двух точек прямолинейных отрезков, уравнения прямых с учетом изменения координат по оси Ox в сечениях по оси Oz можно записать:

$$\begin{aligned} y &= \frac{y_{a_1} - y_{b_1}}{x_{a_1^z} - x_{b_1^z}} x + \frac{x_{a_1^z} y_{b_1} - x_{b_1^z} y_{a_1}}{x_{a_1^z} - x_{b_1^z}}; \\ x_{a_1^z} \leq x \leq x_{b_1^z} \wedge y < 0 & \text{при } z \leq l_e; \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} y &= \frac{y_{d_1} - y_{c_1}}{x_{d_1^z} - x_{c_1^z}} x + \frac{x_{d_1^z} y_{c_1} - x_{c_1^z} y_{d_1}}{x_{d_1^z} - x_{c_1^z}}; \\ x_{d_1^z} \leq x \leq x_{c_1^z} \wedge y > 0 & \text{при } z \leq l_e; \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} y &= \frac{y_{a_2} - y_{b_2}}{x_{a_2^z} - x_{b_2^z}} x + \frac{x_{a_2^z} y_{b_2} - x_{b_2^z} y_{a_2}}{x_{a_2^z} - x_{b_2^z}}; \\ x_{b_2^z} \leq x \leq x_{a_2^z} \wedge y < 0 & \text{при } z \leq l_e; \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} y &= \frac{y_{d_2} - y_{c_2}}{x_{d_2^z} - x_{c_2^z}} x + \frac{x_{d_2^z} y_{c_2} - x_{c_2^z} y_{d_2}}{x_{d_2^z} - x_{c_2^z}}; \\ x_{c_2^z} \leq x \leq x_{d_2^z} \wedge y > 0 & \text{при } z \leq l_e. \end{aligned} \quad (15)$$

С целью упрощения описания криволинейных участков $b_1^z k_1^z c_1^z$ и $b_2^z k_2^z c_2^z$, получаемых в сечениях по оси Oz , сделаем допущение, в результате которого заменим их дугой окружности с радиусом кривизны R_p^z , построенной по трем точкам b_1^z , k_1^z и c_1^z . В силу симметричности расположения точек b_1^z и c_1^z оси Ox и расположения точки k_1^z на оси Ox радиус кривизны дуг в любом сечении по оси Oz можно определить по координатам характерных точек по уравнению

$$R_p^z = \frac{(x_{k_1^z} - x_{c_1^z})^2 + y_{c_1^z}^2}{2(x_{k_1^z} - x_{c_1^z})}, \quad (16)$$

а координату центра окружности дуги $b_1^z k_1^z c_1^z$ правого ролика по оси Ox определим из выражения

$$x_{O_p^z} = x_{k_1^z} - R_p^z. \quad (17)$$

Тогда уравнения криволинейных участков $b_1^z k_1^z c_1^z$ и $b_2^z k_2^z c_2^z$ в сечениях по оси Oz можно записать:

$$y = \pm \sqrt{R_p^{z2} - (x - x_{O_p^z})^2}, \quad x_{c_1^z} \leq x \leq x_{k_1^z} \quad (18)$$

при $z \leq l_e$;

$$y = \pm \sqrt{R_p^{z2} - (x + x_{O_p^z})^2}, \quad x_{k_2^z} \leq x \leq x_{b_2^z} \quad (19)$$

при $z \leq l_e$.

Таким образом, получены аналитические зависимости линий в сечениях деформирующих поверхностей параллельными плоскостями по оси Oz первой пары роликов.

Перейдем к калибру второй пары роликов (рис. 4), который формирует наружную поверхность и периодические параметры профиля арматурной проволоки (см. рис. 1). Наружная поверхность профиля по вершинам выступов формируется линиями калибра, представляющими собой дуги окружности $g_1 n_1 f_1$ и $g_2 n_2 f_2$ радиусом R_p верхнего и нижнего роликов соответственно, проведенного из точки, находящейся на оси Oz в плоскости калибра второй пары роликов, уравнения которых можно записать:

$$y = \pm \sqrt{R_p^2 - x^2}; \quad x_{g_1} \leq x \leq x_{f_1} \wedge y \geq 0; \quad (20)$$

$$x_{g_2} \leq x \leq x_{f_2} \wedge y \leq 0 \quad \text{при } z = 0.$$

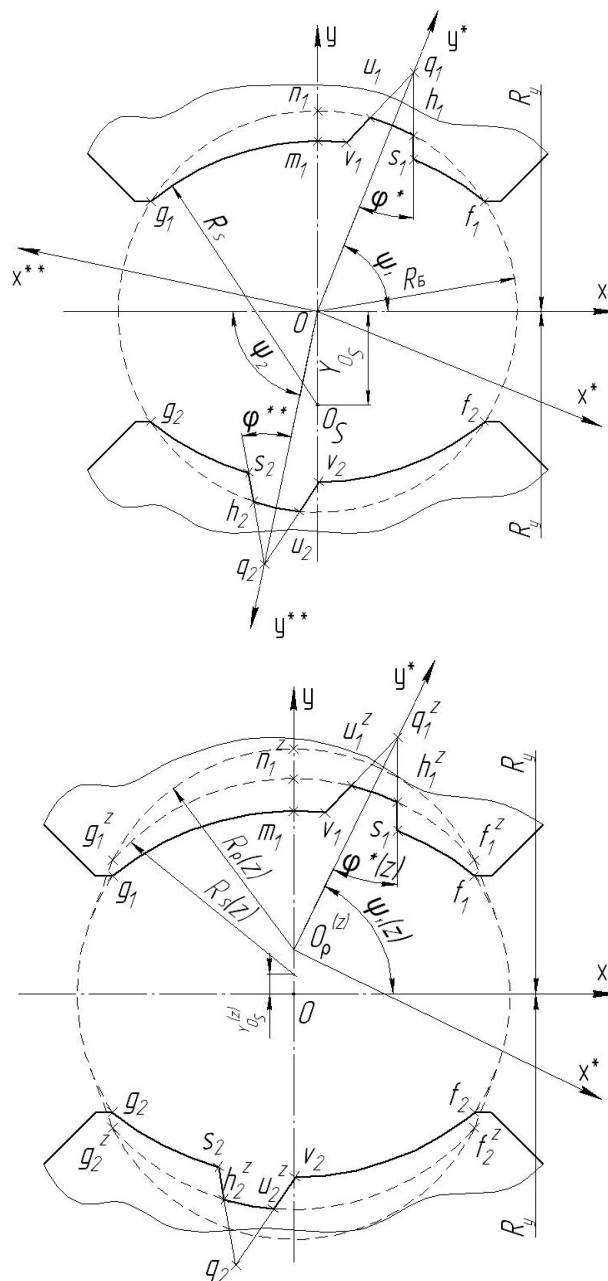


Рис. 4. Калибр второй пары роликов

Внутреннюю поверхность впадин формируют дуги окружности $g_1 m_1 f_1$ и $g_2 m_2 f_2$ радиусом R_s , центр O_s которого смещен по оси Oy на величину x_{O_s} . При этом концы обеих дуг окружностей одного ролика пересекаются с радиальными линиями $g_1 n_1 f_1$ и $g_2 n_2 f_2$ в точках f_1 , g_1 , f_2 и g_2 , на расстоянии $J_1 = 0,8 \text{ мм} \leq c/2$, которое обеспечивает требования к ширине гладкой части периодического профиля C , а длины отрезков $m_1 n_1$ и $m_2 n_2$ обеспечивают глубину впадин $a = 0,19 \text{ мм}$ (см. рис. 1). Зная исходные данные, запишем координаты характерных точек:

$$g_1(x_{g_1}, y_{g_1}): x_{g_1} = -\sqrt{R_p^2 - J_1^2};$$

$$y_{g_1} = J_1 \quad \text{при } z = 0; \quad (21)$$

$$n_1(x_{n_1}, y_{n_1}): x_{n_1} = 0; y_{n_1} = R_p$$

$$\text{при } z = 0; \quad (22)$$

$$f_1(x_{f_1}, y_{f_1}): x_{f_1} = \sqrt{R_p^2 - J_1^2}; y_{f_1} = J_1$$

$$\text{при } z = 0. \quad (23)$$

Как и для дуг калибра первой пары роликов, радиус кривизны дуг впадин R_s определим из подобия прямоугольных треугольников через координаты характерных точек:

$$R_s = \frac{[y_{m_1} - y_{f_1}]^2 + x_{f_1}^2}{2[y_{m_1} - y_{f_1}]}, \quad (24)$$

а координату центра дуги определим из уравнения

$$y_{O_s} = y_{m_1} - R_s. \quad (25)$$

Тогда уравнения дуг впадин в плоскости осей координат Oxy можно записать

$$y = \pm(\sqrt{R_s^2 - x^2} + y_{O_s}); x_{g_1} \leq x \leq x_{f_1} \wedge y \geq 0;$$

$$x_{g_2} \leq x \leq x_{f_2} \wedge y \leq 0 \quad \text{при } z = 0. \quad (26)$$

Боковые поверхности выступов формируются наклонными линиями h_1s_1 , u_1v_1 , h_2s_2 и u_2v_2 . При этом выступы, формируемые как верхним, так и нижним роликами, могут иметь произвольное положение в глобальной системе координат. Для аналитического описания этих линий построим вспомогательные системы координат Ox^*y^* и $Ox^{**}y^{**}$ с центром O , совпадающим с центром глобальной системы координат. А оси Oy^* Oy^{**} проходят симметрично относительно точек h_1 и u_1 и точек h_2 и u_2 верхнего и нижнего ролика соответственно с углом поворота ψ_1 и ψ_2 . Длины хорд h_1u_1 и h_2u_2 определены шириной выступов b (см. рис. 1), размер которых в рассматриваемом сечении можно записать:

$$h_1u_1 = h_2u_2 = \frac{b}{\cos \beta}. \quad (27)$$

Углы наклона φ^* и φ^{**} отрезков h_1s_1 , u_1v_1 , h_2s_2 и u_2v_2 во вспомогательных системах координат Ox^*y^* и $Ox^{**}y^{**}$ можно определить из уравнения

$$tg \varphi^* = tg \varphi^{**} = tg \varphi \cos \beta, \quad (28)$$

где φ – угол наклона боковых поверхностей выступов (см. рис. 1); β – угол наклона выступов к оси волочения.

Зная длины хорд h_1u_1 и h_2u_2 , углы наклона φ^* и φ^{**} отрезков прямых, а также используя уравнение (26) дуг $g_1n_1f_1$ и $g_2n_2f_2$, можно определить координаты характерных точек h_1 , q_1 , u_1 , h_2 , q_2 и u_2 во вспомогательных системах координат:

$$h_1(x_{h_1}^*, y_{h_1}^*): x_{h_1}^* = -\frac{b}{2 \cos \beta};$$

$$y_{h_1}^* = \sqrt{R_p^2 - \left(\frac{b}{2 \cos \beta}\right)^2} \quad \text{при } z = 0, \quad (29)$$

$$u_1(x_{u_1}^*, y_{u_1}^*): x_{u_1}^* = \frac{b}{2 \cos \beta};$$

$$y_{u_1}^* = \sqrt{R_p^2 - \left(\frac{b}{2 \cos \beta}\right)^2} \quad \text{при } z = 0, \quad (30)$$

$$q_1(x_{q_1}^*, y_{q_1}^*): x_{q_1}^* = 0;$$

$$y_{q_1}^* = \sqrt{R_p^2 - \left(\frac{b}{2 \cos \beta}\right)^2} + \frac{btg \varphi}{2} \quad \text{при } z = 0, \quad (31)$$

$$h_2(x_{h_2}^{**}, y_{h_2}^{**}): x_{h_2}^{**} = \frac{b}{2 \cos \beta};$$

$$y_{h_2}^{**} = \sqrt{R_p^2 - \left(\frac{b}{2 \cos \beta}\right)^2} \quad \text{при } z = 0, \quad (32)$$

$$u_2(x_{u_2}^{**}, y_{u_2}^{**}): x_{u_2}^{**} = -\frac{b}{2 \cos \beta};$$

$$y_{u_2}^{**} = \sqrt{R_p^2 - \left(\frac{b}{2 \cos \beta}\right)^2} \quad \text{при } z = 0, \quad (33)$$

$$q_2(x_{q_2}^*, y_{q_2}^*): x_{q_2}^* = 0;$$

$$y_{q_2}^* = \sqrt{R_p^2 - \left(\frac{b}{2 \cos \beta}\right)^2} + \frac{btg \varphi}{2} \quad \text{при } z = 0. \quad (34)$$

Как и при описании очага деформации первой пары роликов, для получения аналитических зависимостей линий в сечениях деформирующих поверхностей параллельными плоскостями, перпендикулярными оси Oz , необходимо знать изменение координат характерных точек при $l_e \leq z \leq 0$. Учитывая, что координаты по оси Ox характерных точек q_1 , n_1 , m_1 , f_1 , q_2 , n_2 , m_2 и f_2 не изменяются в плоскостях сечений по оси Oz , можно записать:

$$g_1(x_{g_1}, y_{g_1}^z): x_{g_1} = -\sqrt{R_p^2 - J_1^2};$$

$$y_{g_1}^z = R_y - \sqrt{(R_y - J_1)^2 - z^2} \quad \text{при } l_e < z \leq 0; \quad (35)$$

$$\begin{aligned} n_1(x_{n_1}, y_{n_1}^z): \quad x_{n_1} &= 0; \\ y_{n_1}^z &= R_y - \sqrt{(R_y - R_p)^2 - z^2} \quad \text{при } l_e < z \leq 0; \end{aligned} \quad (36)$$

$$\begin{aligned} f_1(x_{f_1}, y_{f_1}^z): \quad x_{f_1} &= \sqrt{R_p^2 - J_1^2}; \\ y_{f_1}^z &= R_y - \sqrt{(R_y - J_1)^2 - z^2} \quad \text{при } l_e < z \leq 0; \end{aligned} \quad (37)$$

$$\begin{aligned} m_1(x_{m_1}, y_{m_1}^z): \quad x_{m_1} &= 0; \\ y_{m_1}^z &= R_y - \sqrt{(R_y - R_p - a)^2 - z^2} \quad \text{при } l_e < z \leq 0; \end{aligned} \quad (38)$$

$$\begin{aligned} g_2(x_{g_2}, y_{g_2}^z): \quad x_{g_2} &= -\sqrt{R_p^2 - J_2^2}; \\ y_{g_2}^z &= \sqrt{(R_y - J_2)^2 - z^2} - R_y \quad \text{при } l_e < z \leq 0; \end{aligned} \quad (39)$$

$$\begin{aligned} n_2(x_{n_2}, y_{n_2}^z): \quad x_{n_2} &= 0; \\ y_{n_2}^z &= \sqrt{(R_y - R_p)^2 - z^2} - R_y \quad \text{при } z = 0; \end{aligned} \quad (40)$$

$$\begin{aligned} f_2(x_{f_2}, y_{f_2}^z): \quad x_{f_2} &= \sqrt{R_p^2 - J_2^2}; \\ y_{f_2}^z &= \sqrt{(R_y - J_2)^2 - z^2} - R_y \quad \text{при } l_e < z \leq 0; \end{aligned} \quad (41)$$

$$\begin{aligned} m_2(x_{m_2}, y_{m_2}^z): \quad x_{m_2} &= 0; \\ y_{m_2}^z &= \sqrt{(R_y - R_p - a)^2 - z^2} - R_y \quad \text{при } l_e < z \leq 0, \end{aligned} \quad (42)$$

где a – высота выступов арматурной проволоки (см. рис. 1).

Как и для калибра первой пары роликов, согласно допущениям, заменим криволинейные линии $g_1n_1f_1$, $g_2n_2f_2$, $g_1m_1f_1$ и $g_2m_2f_2$ дугами окружности, радиусы которых определим из подобия прямоугольных треугольников:

– для дуг $g_1n_1f_1$ и $g_2n_2f_2$

$$R_{py}^z = \frac{(y_{n_1}^z - y_{f_1}^z)^2 + x_{f_1}^2}{2(y_{n_1}^z - y_{f_1}^z)} \quad \text{при } l_e < z \leq 0; \quad (43)$$

– для дуг $g_1m_1f_1$ и $g_2m_2f_2$:

$$R_{sy}^z = \frac{(y_{m_1}^z - y_{f_1}^z)^2 + x_{f_1}^2}{2(y_{m_1}^z - y_{f_1}^z)} \quad \text{при } l_e < z \leq 0. \quad (44)$$

Координаты центров $y_{O_p}^z$ и $y_{O_s}^z$ окружностей дуг радиусами R_{py}^z и R_{sy}^z верхнего ролика соответственно определим из уравнений:

$$y_{O_p}^z = y_{n_1}^z - R_{py}^z; \quad (45)$$

$$y_{O_s}^z = y_{m_1}^z - R_{sy}^z. \quad (46)$$

Тогда уравнения линий калибра $g_1^zn_1^zf_1^z$, $g_2^zn_2^zf_2^z$, $g_1^zm_1^zf_1^z$ и $g_2^zm_2^zf_2^z$ в сечениях по оси Oz можно записать:

$$y = \pm \left(\sqrt{R_{py}^z - x^2} + y_{O_p}^z \right); \quad x_{g_1} \leq x \leq x_{f_1} \wedge y \geq 0; \quad (47)$$

$$x_{g_2} \leq x \leq x_{f_2} \wedge y \leq 0 \quad \text{при } l_e \leq z \leq 0;$$

$$y = \pm \left(\sqrt{R_{sy}^z - x^2} + y_{O_s}^z \right); \quad x_{g_1} \leq x \leq x_{f_1} \wedge y \geq 0; \quad (48)$$

$$x_{g_2} \leq x \leq x_{f_2} \wedge y \leq 0 \quad \text{при } l_e \leq z \leq 0.$$

При построении уравнений наклонных линий выступов в плоскостях сечений по оси Oz определим координаты точек h_1^z , q_1^z , u_1^z , h_2^z , q_2^z и u_2^z во вспомогательных системах координат $O_p^zx^*y^*$ и $O_p^zx^{**}y^{**}$ с учетом перемещений этих точек по оси Oy . Для этого начало вспомогательных систем координат переместим в центры окружностей дуг $g_1^zn_1^zf_1^z$, $g_2^zn_2^zf_2^z$ соответственно верхнего и нижнего ролика, сохраняя симметричность направления осей между соответствующими точками. Координаты характерных точек h_1^z , q_1^z , u_1^z , h_2^z , q_2^z и u_2^z во вспомогательных системах координат не приводятся в силу идентичности их записей с уравнениями (29)–(34), в которых радиус R_p меняется на радиус R_{py}^z при $l_e \leq z \leq 0$, который определяется по уравнению (43).

Кроме того, учитываем, что по сравнению с плоскостью калибра углы $\psi_1(z)$ и $\psi_2(z)$ изменятся на величину $\Delta\psi(z)$ на одном ролике по часовой стрелке и против часовой стрелки на другом ролике, так как выступы на арматурной проволоке имеют противоположное направление с углом наклона β . Тогда изменение угла наклона можно записать.

$$\Delta\psi(z) = 2 \arcsin \frac{z}{2R_p^y(z)}; \quad \text{при } l_e \leq z \leq 0. \quad (49)$$

Углы наклона ψ_1^z ψ_2^z впадин будут определяться из уравнений

$$\begin{aligned} \psi_1^z &= \psi_1 + \Delta\psi(z) \quad \text{и} \quad \psi_2^z = \psi_2 + \Delta\psi(z); \\ \text{при } l_e &\leq z \leq 0, \end{aligned} \quad (50)$$

где ψ_1 и ψ_2 – начальные углы выступов в сечении арматурной проволоки.

Преобразуем координаты характерных точек h_1^z , q_1^z , u_1^z , h_2^z , q_2^z и u_2^z из вспомогательных систем координат в глобальную систему координат $Oxyz$ с учетом их смещения на $y_{O_p}^z$ по оси Oy и изменения угла поворота:

$$\begin{aligned} h_1^z(x_{h_1^z}, y_{h_1^z}): x_{h_1^z} &= x_{h_1^z}^* \cos \psi_1^z + y_{h_1^z}^* \sin \psi_1^z; \\ y_{h_1^z} &= x_{h_1^z}^* \sin \psi_1^z + y_{h_1^z}^* \cos \psi_1^z + y_{O_p}^z; \end{aligned} \quad (51)$$

$$\begin{aligned} u_1^z(x_{u_1^z}, y_{u_1^z}): x_{u_1^z} &= x_{u_1^z}^* \cos \psi_1^z + y_{u_1^z}^* \sin \psi_1^z; \\ y_{u_1^z} &= x_{u_1^z}^* \sin \psi_1^z + y_{u_1^z}^* \cos \psi_1^z + y_{O_p}^z; \end{aligned} \quad (52)$$

$$\begin{aligned} q_1^z(x_{q_1^z}, y_{q_1^z}): x_{q_1^z} &= y_{q_1^z}^* \cos \psi_1^z; \\ y_{q_1^z} &= y_{q_1^z}^* \sin \psi_1^z + y_{O_p}^z; \end{aligned} \quad (53)$$

$$\begin{aligned} h_2^z(x_{h_2^z}, y_{h_2^z}): x_{h_2^z} &= x_{h_2^z}^{**} \cos \psi_2^z + y_{h_2^z}^{**} \sin \psi_2^z; \\ y_{h_2^z} &= x_{h_2^z}^{**} \sin \psi_2^z + y_{h_2^z}^{**} \cos \psi_2^z - y_{O_p}^z; \end{aligned} \quad (54)$$

$$\begin{aligned} u_2^z(x_{u_2^z}, y_{u_2^z}): x_{u_2^z} &= x_{u_2^z}^{**} \cos \psi_2^z + y_{u_2^z}^{**} \sin \psi_2^z; \\ y_{u_2^z} &= x_{u_2^z}^{**} \sin \psi_2^z + y_{u_2^z}^{**} \cos \psi_2^z - y_{O_p}^z; \end{aligned} \quad (55)$$

$$\begin{aligned} q_2^z(x_{q_2^z}, y_{q_2^z}): x_{q_2^z} &= y_{q_2^z}^{**} \cos \psi_2^z; \\ y_{q_2^z} &= y_{q_2^z}^{**} \sin \psi_2^z - y_{O_p}^z. \end{aligned} \quad (56)$$

Ввиду незначительных размеров наклонных отрезков поверхности выступом, сделаем допущение, что углы φ в плоскостях сечений не изменяются. Тогда, зная координаты двух точек каждого из четырех отрезков наклонных линий выступов плоскостях сечений по оси Oz , составим их уравнения:

$$h_1^z q_1^z: y = \frac{y_{q_1^z}^z - y_{h_1^z}^z}{x_{q_1^z}^z - x_{h_1^z}^z} x + \frac{x_{q_1^z}^z y_{h_1^z}^z - x_{h_1^z}^z y_{q_1^z}^z}{x_{q_1^z}^z - x_{h_1^z}^z}; \quad (57)$$

$$u_1^z q_1^z: y = \frac{y_{q_1^z}^z - y_{u_1^z}^z}{x_{q_1^z}^z - x_{u_1^z}^z} x + \frac{x_{q_1^z}^z y_{u_1^z}^z - x_{u_1^z}^z y_{q_1^z}^z}{x_{q_1^z}^z - x_{u_1^z}^z}; \quad (58)$$

$$h_2^z q_2^z: y = \frac{y_{q_2^z}^z - y_{h_2^z}^z}{x_{q_2^z}^z - x_{h_2^z}^z} x + \frac{x_{q_2^z}^z y_{h_2^z}^z - x_{h_2^z}^z y_{q_2^z}^z}{x_{q_2^z}^z - x_{h_2^z}^z}; \quad (59)$$

$$u_2^z q_2^z: y = \frac{y_{q_2^z}^z - y_{u_2^z}^z}{x_{q_2^z}^z - x_{u_2^z}^z} x + \frac{x_{q_2^z}^z y_{u_2^z}^z - x_{u_2^z}^z y_{q_2^z}^z}{x_{q_2^z}^z - x_{u_2^z}^z}. \quad (60)$$

Координаты точек пересечения S_1^z и V_1^z наклонных линий $h_1^z q_1^z$ и $u_1^z q_1^z$ с криволинейной линией $g_1^z m_1^z f_1^z$ найдем из поочередного совместного решения уравнения (47) с уравнениями (57) и (58) соответственно, а координаты точек S_2^z и V_2^z из решения уравнения (48) с уравнениями (59) и (60).

Дополнив полученные уравнения (12)–(15), (18) и (19) линий калибра первой пары роликов и уравнения (47), (48), (57)–(60) в плоскостях сечений по оси Oz уравнением поверхности заготовки $y = \sqrt{R_3^2 - x^2}$, получим уравнение:

$$\Phi = \begin{cases} y = \pm \sqrt{R_3^2 - x^2}, & -R_3 \leq x \leq R_3, \\ y = \pm \sqrt{R_{px}^2 - (x - x_{O_p}^z)^2}, & x_{k_2^z} \leq x \leq x_{b_2^z}, \quad x_{b_1^z} \leq x \leq x_{k_1^z}, \quad z \leq l_e, \\ y = \pm \frac{y_{a_2} - y_{b_2}}{x_{a_2} - x_{b_2}} x \pm \frac{x_{a_2} y_{b_2} - x_{b_2} y_{a_2}}{x_{a_2} - x_{b_2}}, & \begin{cases} x_{b_2^z} \leq x \leq x_{a_2^z} \wedge y < 0, \\ x_{c_2^z} \leq x \leq x_{d_2^z} \wedge y > 0, \end{cases} \quad z \leq l_e, \\ y = \pm \frac{y_{a_1} - y_{b_1}}{x_{a_1} - x_{b_1}} x \pm \frac{x_{a_1} y_{b_1} - x_{b_1} y_{a_1}}{x_{a_1} - x_{b_1}}, & \begin{cases} x_{a_1^z} \leq x \leq x_{b_1^z} \wedge y < 0, \\ x_{d_1^z} \leq x \leq x_{c_1^z} \wedge y > 0, \end{cases} \quad z \leq l_e, \\ y = \pm \sqrt{R_{py}^2 - x^2} \pm y_{py}^z, & x_{g_1} \leq x \leq x_{f_1} \wedge y > 0, \quad x_{g_2} \leq x \leq x_{f_2} \wedge y < 0, \quad l_e \leq z \leq 0, \\ y = \sqrt{R_{sy}^2 - x^2} + y_{sy}^z, & x_{g_1} \leq x \leq x_{v_1} \wedge y > 0, \quad x_{s_1} \leq x \leq x_{f_1} \wedge y > 0, \quad l_e \leq z \leq 0, \\ y = -\sqrt{R_{sy}^2 - x^2} - y_{sy}^z, & x_{g_2} \leq x \leq x_{v_2} \wedge y < 0, \quad x_{s_2} \leq x \leq x_{f_2} \wedge y < 0, \quad l_e \leq z \leq 0, \\ y = \frac{y_{q_1^z} - y_{u_1^z}}{x_{q_1^z} - x_{u_1^z}} x + \frac{x_{q_1^z} y_{u_1^z} - x_{u_1^z} y_{q_1^z}}{x_{q_1^z} - x_{u_1^z}}, & x_{v_1^z} \leq x \leq x_{u_1^z} \wedge y > 0, \quad l_e \leq z \leq 0, \\ y = \frac{y_{q_1^z} - y_{h_1^z}}{x_{q_1^z} - x_{h_1^z}} x + \frac{x_{q_1^z} y_{h_1^z} - x_{h_1^z} y_{q_1^z}}{x_{q_1^z} - x_{h_1^z}}, & x_{h_1^z} \leq x \leq x_{s_1^z} \wedge y > 0, \quad l_e \leq z \leq 0, \\ y = \frac{y_{q_2^z} - y_{h_2^z}}{x_{q_2^z} - x_{h_2^z}} x + \frac{x_{q_2^z} y_{h_2^z} - x_{h_2^z} y_{q_2^z}}{x_{q_2^z} - x_{h_2^z}}, & x_{s_2^z} \leq x \leq x_{h_2^z} \wedge y < 0, \quad l_e \leq z \leq 0, \\ y = \frac{y_{q_2^z} - y_{u_2^z}}{x_{q_2^z} - x_{u_2^z}} x + \frac{x_{q_2^z} y_{u_2^z} - x_{u_2^z} y_{q_2^z}}{x_{q_2^z} - x_{u_2^z}}, & x_{u_2^z} \leq x \leq x_{v_2^z} \wedge y > 0, \quad l_e \leq z \leq 0. \end{cases} \quad (61)$$

Таким образом, на основе новых дополнительных параметров описания линий калибра [2], получены аналитические зависимости геометрических параметров изменения круглой заготовки при формировании профиля арматурной проволоки для предварительно напряженных железобетонных шпал в калибре со смещенными парами роликов с минимальным количеством допущений. Это позволяет более корректно провести дискретизацию очага деформации, что обеспечит не только повышение точности расчетов при определении энергосиловых параметров формоизменения заготовки, но и вычисление распределения напряжений в очаге деформации металла [4].

Список литературы

1. Славин В.С., Норец А.И., Бричко А.Г. Клетки-волоки для получения калиброванного проката: монография. Магнитогорск: МаГУ, 2012. 180 с.
2. Славин В.С. Выбор параметров для описания очага деформации, образованного произвольным количеством роликов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2009. №4(28). С. 34-35.
3. Славин В.С., Бричко А.Г. Методика описания геометрии калибра при волочении арматурной проволоки в волоке со смещенными парами роликов // Механическое оборудование металлургических заводов: межрегион. сб. науч. тр. / под ред. Корчунова А.Г. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. С. 56-61.
4. Славин В.С., Бричко А.Г. Выбор деформирующего оборудования на основе силового анализа, обеспечивающего повышение качества холоднокатаной арматурной проволоки для предварительно напряженных железобетонных шпал // Фундаментальные и прикладные проблемы науки: материалы VII Междунар. симпозиума. М.: РАН, 2012. С. 43-54.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

METHODS OF ANALYTICAL DESCRIPTION OF DEFORMATION ZONE GEOMETRY DURING REINFORCEMENT WIRE-DRAWING IN THE GROOVE WITH OFFSET ROLLERS PAIRS

Slavin V.S., Brichko A.G.

Abstract. Drawing in rollers becomes more and more popular in using technologies for manufacturing of shaped sections and round cold-drawn reinforcement wire. But determination of energy and power parameters is rather complicated because of analytical description of groove lines and its changing deformation zone length. At work, based on new additional parameters, such as the geometrical groove centre (GGC) and the roller nominal diameter, the equation of round deformation during reinforcement wire-drawing in the groove with offset rollers pairs was gotten.

Keywords: drawing, rollers, roller nominal diameter, groove with offset rollers pairs, deformation zone, groove lines.

References

1. Slavin V.S., Norets A.I., Brichko A.G. *Kletki-voloki dlja polucheniya kalibrovannogo prokata: monografiya*. [Rollers for manufacturing of shaped sections: Monography]. Magnitogorsk: MaSU, 2012. 180 p.
2. Slavin V.S. Vybora parametrov dlja opisanija ochaga deformacii, obrazovannogo proizvol'nym kolichestvom rolikov. [Choice of parameters describing deformation zone formed by arbitrary number of rolls]. *Vestnik*

Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta im. G.I. Nosova. [Vestnik Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov]. 2009, no.4(28), pp. 34-35

3. Slavin V.S., Brichko A.G. Metodika opisanija geometrii kalibra pri volocheni armaturnoj provoloki v voloke so smeshhennymi parami rolikov. [Description methodology of caliber geometry during reinforcement wire drawing in the offset roller pairs groove]. *Mehanicheskoe oborudovanie metal-lurgicheskikh zavodov: mezhregion. sb. nauch. tr. / pod red. Korchunova A.G.* [Mechanical equipment for iron and steel works: edited by A.G. Korchunov]. Magnitogorsk: published by Magnitogorsk State University named after G.I. Nosov, 2012, pp. 56-61.
4. Slavin V.S., Brichko A.G. Vybora deformirujushhego oborudovani na osnove silovogo analiza, obespechivajushhego povyshenie kachestva holidnotjanutoj armaturnoj provoloki dlja predvaritel'no napriazhennyh zhelezobetonnyh shpal. [Power analysis for the choice of forming equipment providing high quality of round cold-drawn reinforcement wire for prestressed concrete sleepers]. *Fundamentalnye i prikladnye problemy nauki: materialy VII Mezhdunar. simpoziuma*. [Fundamental and applied problems of science. Papers of the VII International Symposium]. Moscow: RAN, 2012, vol.2, pp. 43-54.

УДК 621.771.23

Найзабеков А.Б., Талмазан В.А., Ержанов А.С.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫКАТЫВАЕМОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ ПОЛОС ТИПА «НАКОЛ» ПРИ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ

Аннотация. Интенсивное развитие производства требует от листопрокатного производства выпуска тонкого высококачественного листа, предназначенного для изготовления различных деталей и оборудования. Листы, помимо оптимальной структуры и требуемых механических свойств, должны обладать высоким качеством поверхности.

Своевременное выявление поверхностных дефектов исключает попадание брака на последующие операции, а также позволяет определить возможность образования брака, его причину и принять меры по предотвращению образования дефекта.

В данной работе приведены результаты исследований о возможности улучшения качества поверхности холоднокатаной полосы за счет повышения выкатываемости поверхностных дефектов типа «накол» при помощи ЭВМ.

Ключевые слова: поверхностный дефект, регрессионная модель, холодная прокатка, метод конечных элементов, выкатываемость, исследование, прокатный стан, формоизменение, относительная глубина дефекта, коэффициент трения, рабочий валок, суммарное обжатие, напряженное состояние, координатная сетка, моделирование.

Экспериментальное моделирование промышленных процессов прокатки полосы с дефектами является трудоемким процессом. В значительной степени применение ЭВМ облегчает процесс моделирования.

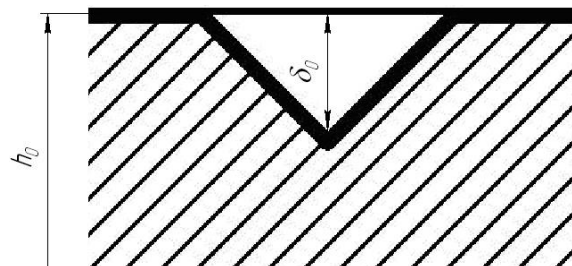
В настоящей работе проведено моделирование процесса холодной прокатки полос с поверхностными дефектами типа «накол» при помощи специализированного программного комплекса «DeForm3D».

Смоделирован процесс формоизменения объемных поверхностных дефектов типа «накол» при холодной прокатке полос на непрерывном пятиклетевом стане 1700. С целью увеличения точности расчетов и согласно сортаменту стана 1700 смоделирована область (50×100 мм) вязкопластичной полосы толщиной 4,5 мм. Дефекты наносились в виде углублений на поверхности полосы.

Материал рабочих валков принимали сплошным, несжимаемым диаметром 600 мм. Материал полосы – сталь 08кп. На полосе смоделированы три поверхностных дефекта конической формы (рис. 1) с различной начальной относительной глубиной δ_0/h_0 .

По результатам исследования работ [1-5] на практике поверхностные дефекты встречаются с относительной глубиной $\delta_0/h_0 = 0,37$. В связи с расширением области исследования принято увеличить на 7% предельную относительную глубину поверхностного дефекта. Таким образом, начальные относительные глубины дефектов варьировали в пределах 10-44% от толщины полосы. Исследования проводили при постоянной скорости прокатки. С целью сниже-

ния времени расчетов на полосу задали оптимальную координатную сетку (100 тысяч элементов). Коэффициент трения принимали равным 0,03 и 0,07. Формоизменение поверхностных дефектов с различной начальной относительной глубиной δ_0/h_0 , прокатанных с разными суммарными обжатиями ε_Σ и при разных коэффициентах трения f , приведены в таблице.



h_0 – толщина полосы, мм; δ_0 – глубина дефекта, мм

Рис. 1. Профиль поперечного сечения полосы с дефектом конической формы типа «накол»

Формоизменение поверхностных дефектов

Начальная относительная глубина дефекта δ_0/h_0	Начальный вид дефекта	Коэффициент трения	
		$f = 0,03$	$f = 0,07$
0,1		$\varepsilon_\Sigma = 19,18\%$	
			дефект выкатан
		$\varepsilon_\Sigma = 35,11\%$	
		дефект выкатан	дефект выкатан
0,23		$\varepsilon_\Sigma = 19,18\%$	
		$\varepsilon_\Sigma = 35,11\%$	
0,44		$\varepsilon_\Sigma = 19,18\%$	
		$\varepsilon_\Sigma = 35,11\%$	
		$\varepsilon_\Sigma = 45,56\%$	

Изменение ширины дефектов в процессе исследований не учитывалось.

Проведен анализ напряженного состояния внутренней части поверхностных дефектов. При этом в области дефектов выбирали точки, как показано на рис. 2. Далее проводили отслеживание напряженного состояния в данных точках (рис. 3).

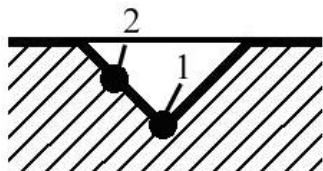


Рис. 2. Схема отслеживания напряжения в дефектах

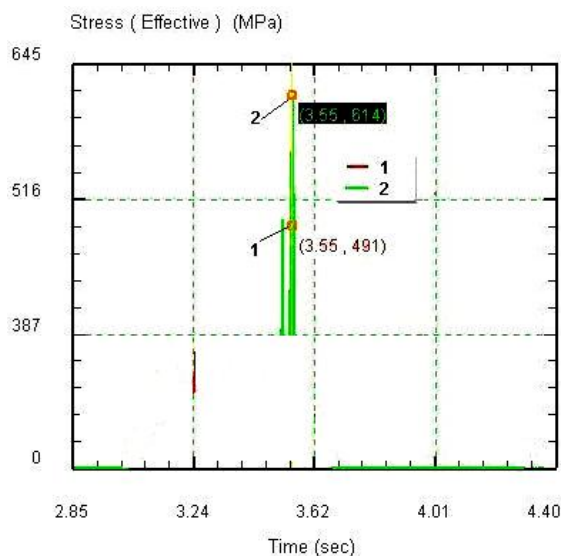


Рис. 3. Напряженное состояние в точках дефекта

На рис. 4 представлена зависимость относительной глубины дефекта типа «накол» от суммарного обжатия.

Анализ полученных данных показывает, что точки, расположенные на грани поперечного сечения объемного поверхностного дефекта типа «накол» (т. 2 на рис. 2), испытывают наибольшее напряжение по сравнению с точками в узлах граней (т. 1 на рис. 2). Относительно большая разность напряжений в т. 1 и 2 (см. рис. 3), составляющая 123 МПа, объясняется наличием своеобразного концентратора напряжений, что обусловлено геометрическим строением дефектов конической формы.

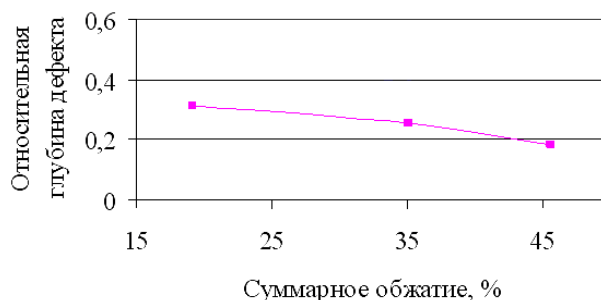


Рис. 4. Зависимость относительной глубины дефекта «накол» от суммарного обжатия

По данным моделирования корреляционно-регрессионным анализом определена модель, характеризующая влияние выкатываемости поверхностных дефектов от параметров прокатки.

$$\frac{d}{h} = -0,003 \cdot e - 0,4 \cdot f + 0,27. \quad (1)$$

Результаты таблицы, свидетельствуют о положительной роли внешнего трения на процесс формоизменения поверхностных дефектов. Внешние силы трения активизируют напряжения в точках, расположенных на гранях (т. 2 на рис. 2), тем самым увеличивают формоизменение дефекта. С увеличением сил трения усиливается процесс «выпучивания» донной части дефекта.

Выводы. Проведены математическое моделирование процесса холодной прокатки полосы с поверхностными дефектами типа «накол» и анализ напряженного состояния в зоне дефекта. Определена модель зависимости относительной глубины дефекта от параметров прокатки.

Список литературы

1. Зенченко Ф.И., Чернов П.П., Мазур В.Л. Предупреждение порывов при холодной прокатке полос // Прокатное производство. 1990. №3. С. 35-42.
2. Скороходов В.Н., Бармин Г.Ю., Чернов П.П. Выкатываемость дефектов поверхности при холодной прокатке и качество полосы // Сталь. 1991. №5. С. 45-48.
3. Зильберг Ю.В. Исследование закономерностей формоизменения поверхностных дефектов при прокатке // Сталь. 1997. №10. С. 44-46.
4. Зильберг Ю.В., Миленин А.А. Теоретическое и экспериментальное исследование формоизменения поверхностных впадин при прокатке // Изв. вузов. Черная металлургия. 1998. №11. С. 27-29.
5. Ершов В.Н. Исследование интенсивности выработки поверхностных дефектов металла при прокатке // Изв. вузов. Черная металлургия. 1985. №12. С. 48-50.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

SIMULATION BURNISHING OF SUPERFICIAL DEFECTS OF THE «PIN-HOLE» TYPE IN COLD ROLLING USING COMPUTERS

Naizabekov A.B., Talmazan V.A., Erzhanov A.S.

Abstract. Intensive development of production demands from sheet-rolling production of release of the thin high-quality leaf intended for manufacturing of various details and the equipment. Sheets besides optimum structure and demanded mechanical properties, should possess high quality of a surface.

Timely detection of superficial defects excludes marriage hit on the subsequent operations, and also allows to define in due time possibility

of formation of marriage, its reason and in due time to take measures for prevention of formation of defect.

Results of researches are given in this work about possibility of improvement of quality of a surface of a cold rolling strip at the expense of increase of a burnishing of superficial defects of the «pin-hole» type by means of the COMPUTER.

Keywords: surface defect, regression a sample piece, cold rolling,

finite-element method, flattening, exploration, the rolling mill, forming, relative depth of flaw, coefficient of friction, work roll, net reduction, case-hardening, a reference grid, simulation.

References

1. Zenchenko F.I., Chernov P.P., Masur V.L. Preduprezhdenie poryvov pri holodnoj prokatke polos. [The prevention of gusts at cold rolling of strips]. *Proklatnoe proizvodstvo*. [Plate rolling], 1990, no.3, pp. 35-42.
2. Skorohodov V.N., Barmin G.J., Chernov P.P. Vykatyvaemost' defektov poverhnosti pri holodnoj prokatke i kachestvo polosy. Flattening of surface defects at cold rolling and quality of a strip. *Stal'*. [Steel], 1991, no.5, pp. 45-48.
3. Zilberg J.V. Issledovanie zakononomostej formoizmenenija poverhnostnyh defektov pri prokatke. [Exploration of regularities of a forming of surface defects at rolling]. *Stal'*. [Steel], 1997, no.10, pp. 44-46.
4. Zilberg J.V., Milenin A.A. Teoreticheskoe i jeksperimental'noe issledovanie formoizmenenija poverhnostnyh vpadin pri prokatke. [Theoretical and an experimental research of a forming of superficial caves at rolling]. *Izvestia vuzov. Chernaya metallurgiya*. [Informations of higher educational institutions. Iron and steel industry], 1998, no.11, pp. 27-29.
5. Ershov V.N. Issledovanie intensivnosti vyrabotki poverhnostnyh defektov metalla pri prokatke. [Exploration of intensity of galling of surface defects of metal at rolling]. *Izvestia vuzov. Chernaya metallurgiya*. [Informations of higher educational institutions. Iron and steel industry], 1985, no.12, pp. 48-50.

УДК 621.771.014.2

Калугина О.Б.

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ФОРМЫ ВЫТЯЖНЫХ КАЛИБРОВ

Аннотация. Разработан численный метод решения задачи оптимизации формы вытяжных калибров. В качестве целевой функции оптимизации выбран максимум коэффициента эффективности калибровки, который соответствует минимальной работе деформации. На основе численного метода создано программное приложение, позволяющее при заданных параметрах равноосных калибров в четных проходах получить оптимальную форму калибра в нечетном проходе с максимальным коэффициентом эффективности.

Апробация программного комплекса для решения задачи оптимизации формы калибра проведена для наиболее типичных систем вытяжных калибров.

Полученные численные решения согласуются с практическим опытом калибровщиков и действующими калибровками.

Ключевые слова: сортовая прокатка, моделирование, оптимизация, форма калибра, энергопотребление

Одной из приоритетных задач сортопрокатного производства является повышение эффективности путем снижения издержек.

Энергосбережение при горячей сортовой прокатке может быть достигнуто совершенствованием формы калибров вытяжных клетей с целью снижения энергозатрат на формоизменение.

Задачу оптимизации всей схемы калибровки стана разбили на несколько более мелких подзадач: рассмотрим процесс прокатки в двух смежных клетях.

Исходными данными для оптимизации калибровки в смежных клетях были равноосные сечения на входе в первую клетку и на выходе из второй (рис. 1). В первой клетке мы можем подобрать бесконечное многообразие неравноосных калибров, которые позволят из заданной заготовки получить требуемый профиль на выходе из второй клетки.

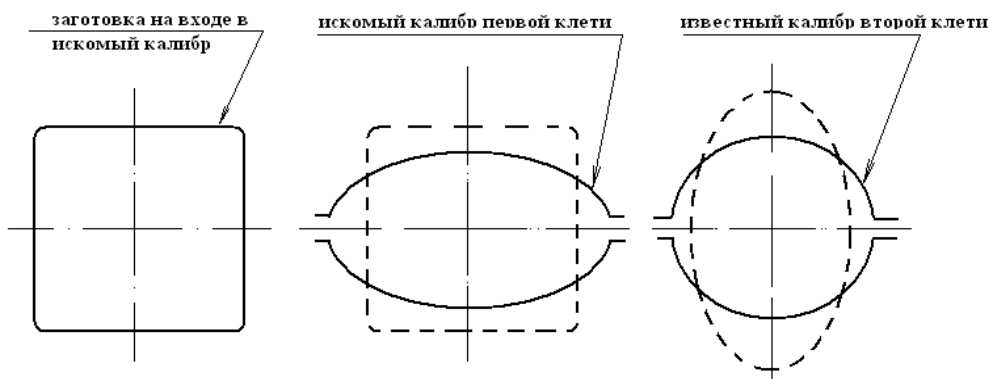


Рис. 1. К постановке задачи оптимизации

В работе [1] была доказана обратная связь работы деформации с коэффициентом технологичности калибровки. Максимум коэффициента эффективности соответствует минимальной работе деформации.

Поскольку коэффициент технологичности является матричным выражением коэффициента эффективности, в качестве критерия оптимизации выбран максимум коэффициента эффективности калибровки.

Разработка математической модели и постановка задачи оптимизации были представлены ранее в работах [2, 3]. Аналитическое решение данной задачи не представляется возможным по ряду причин, поэтому для решения задачи оптимизации был разработан численный метод.

Для этого искомая кривая представлена (с учетом отмеченных ограничений) в виде ломаной линии, состоящей из набора координат узловых точек, соединенных отрезками.

Для дискретизации непрерывного пространства поиска траектории был применен известный математический аппарат матричного подхода к моделированию калибровки.

Общая блок-схема для численного решения поставленной задачи показана на рис. 2.



Рис. 2. Блок-схема алгоритма численного решения задачи оптимизации формы калибра

Представленный алгоритм реализован в виде интерактивного программного комплекса для проектирования оптимальных калибровок валков сортопрокатного стана OptimPass (рис. 3). Получено свидетельство о государственной регистрации программы ЭВМ [4].

Апробация программного комплекса для решения задачи оптимизации формы калибра проведена для наиболее типичных систем вытяжных калибров.

Проанализировав полученные численные решения, можно сделать следующие выводы:

- искомой оптимальной формой калибра для любых систем вытяжных калибров является шестиугольный калибр (рис. 4);
- точка перелома шестиугольника всегда находится внутри контура сечения входящего профиля;
- выпуклость дна и боковых стенок калибра (рис. 4, б);
- наилучшим решением по данному критерию оптимизации всегда является гладкая бочка.

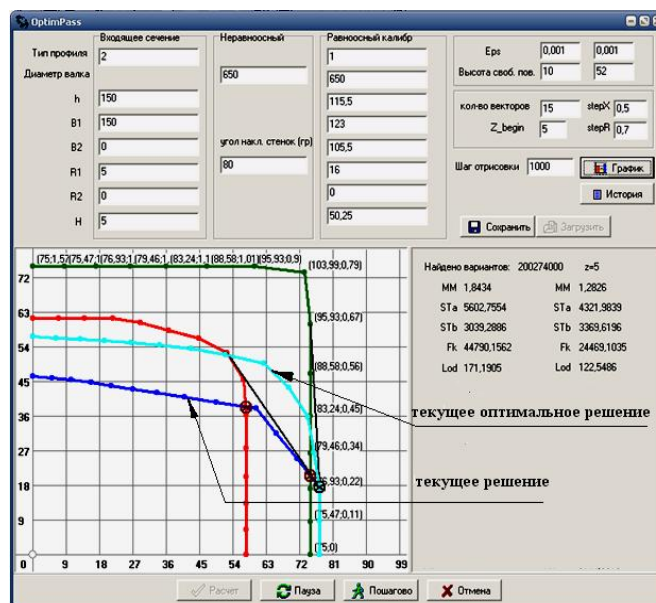


Рис. 3. Исходные данные для поиска оптимальной неравноосной калибровки второй клетки и найденные решения программным комплексом OptimPass

Полученные численные решения согласуются с практическим опытом калибровщиков и действующими калибровками.

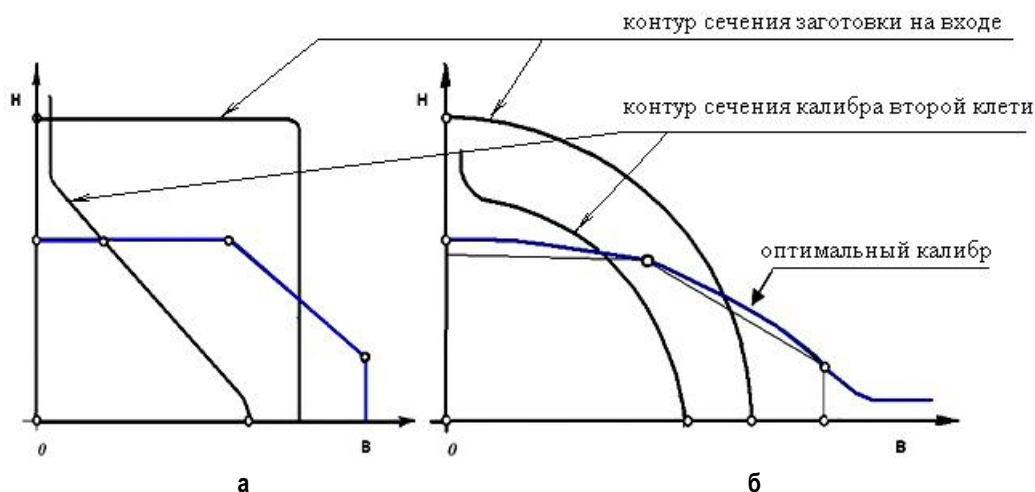


Рис. 4. Анализ результатов численного решения задачи оптимизации

Учитывая известные рекомендации к проектированию калибров и результаты численного решения задачи оптимизации формы калибров по критерию эффективности калибровки, были построены чертежи черновых калибров в нечетных проходах для стана 370 ОАО «ММК».

Предполагаемая экономическая эффективность от внедрения разработанной схемы калибровки валков стана 370 составляет 2,8 млн руб.

Список литературы

1. Зайцев А.А. Анализ и совершенствование схем калибровки рав-

нополюсной угловой стали на основе матричных моделей формоизменения: дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск: МГТУ, 2003. 107 с.

2. Тулупов О.Н., Кинзин Д.И. Калибровка простых сортовых профилей как решение задач оптимального управления // Труды восьмого конгресса прокатчиков, Магнитогорск, 11-15 октября 2010 г. Т.1. Магнитогорск: Магнитогорский дом печати, 2010. С. 230-235.
3. Кинзин Д.И., Калугина О.Б. Оценка влияния показателей формы очага деформации на уширение при сортовой прокатке // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. №4. С. 21-23.
4. Оптимизация калибровки валков сортопрокатного стана по критерию эффективности калибровки OptimPass: Свидетельство государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011618922, ОБПБТ 2012. №1, С. 301.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

NUMERICAL SOLVING TASK OF OPTIMIZATION SHAPE OF EXHAUST BREAK-DOWN PASS

Kalugina O.B.

Abstract. Numerical method of solving optimization shape pass design task had been developed.

Maximize efficiency coefficient was choose as an optimization efficiency function. It improved minimize deformation work. Program application was constructed by developed numerical method. It enabled to got optimal shape design in odd pass with maximize efficiency coefficient when even roll pass parameters was furnish.

Approbation of program application for optimization task solving was saw above most typical system of break-down pass.

Obtained numerical solving is tie together working pass design.

Keywords: shape rolling, modeling, optimization, shape of roll-pass, energy consumption.

References

1. Zaitsev A.A. *Analiz i sovershenstvovanie shem kalibrovki ravnopoluchnoy ugovoy stali na osnove matrichnyh modelej formoizmeneniya*. Extended ab-

stract of PhD dissertation [Analyzing and improvement scheme calibration of equal angular steel by matrix modeling of forming]. Magnitogorsk, 2003, 107 p.

2. Tulupov O.N., Kinzin D.I. Calibration Simple Rolling Shapes as solving task of optimal control. *Trudy vos'mogo kongressa prokatchikov*. [Proceedings of eight congress rolling specialists]. Magnitogorsk, 11-15 October, 2010, pp. 230-235.
3. Kinzin D.I., Kalugina O.B. Ocenka vliyanija pokazatelej formy ochaga deformacii na ushirenie pri sortovoj prokatke. [Assessment of deformation Hearth form indicator's influence on widening in shape rolling]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov]. 2011, no.4, pp. 21-23.
4. *Optimizacija kalibrovki valkov sortoprokatnogo stana po kriteriju jeffektivnosti kalibrovki OptimPass*. [Optimization of calibration grooving bar-rolling mill by criteria efficiency OptimPass]. Certificate state registration of program for computer no.2011618922, OBPBT 2012. №1, p. 301.

ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

УДК 621.81

Белевский Л.С., Белевская И.В., Ефимова Ю.Ю.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ И ФОРМЫ ДЕТАЛЕЙ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКОЙ

Аннотация. Изучена возможность восстановления размеров и формы деталей комбинированной обработкой – накаткой роликом с последующим нанесением функциональных покрытий гибким инструментом. Установлено, что предложенная обработка позволяет увеличить диаметр изношенной детали, получить ультрамелкозернистую структуру в поверхностном слое за счет ИПД. Функциональные покрытия различного назначения могут наноситься из чистых металлов и сплавов, композитных материалов, в том числе нанокомпозиционных.

Ключевые слова: восстановление размеров, накатка, пластическая деформация, фрикционное плакирование, покрытия, ультрамелкозернистая структура.

Снижение эксплуатационных характеристик пар трения во многом связано с износом. Традиционные способы восстановления изношенных деталей: наплавка, напыление, электролитическое нанесение покрытий и т.п. в ряде случаев применять затруднительно или невозможно из-за изменений физико-химических свойств поверхностного слоя и необходимости последующей механической обработки. Большие трудности возникают при восстановлении прецизионных деталей. Одним из способов восстановления является увеличение диаметра изношенной детали за счет высоты наплывов, образующихся по краям микроканалов при формировании рельефа алмазным выглаживанием [1]. Максимальное увеличение размеров стальных деталей за счет высадки металла в виде наплывов может составлять 30 мкм. При этом решаются две задачи – восстановление размера и создание дополнительных маслосъемных каналов. Увеличение маслосъемности поверхности уменьшает вероятность возникновения сухого трения, появления задигов и заклинивания контактирующих поверхностей. Повысить маслосъемность можно также нанесением на поверхность регулярного микрорельефа [2].

Представляется целесообразным дополнительно нанести на поверхность с рельефом, полученным пластическим деформированием, функциональное покрытие, например, антифрикционное или износостойкое. Следует заметить, что при алмазном выглаживании или нанесении рельефа накатным роликом возможно наноструктурирование поверхностного слоя вследствие интенсивной пластической деформации (ИПД) [3, 4]. Накатка роликом с сетчатым или параллельным рифлением является одним из видов поверхностной пластической деформации и, в какой-то степени, напоминает прокатку со сдвигом, в частности, прокатку на валках с прорезями. В работе [5] рассмотрены предпосылки для использования интенсивных сдвиговых деформаций без применения высокого давления для формирования ультрамелкозернистых материалов.

Обработка инденторами – это один из видов фрикционной обработки, к которой можно отнести и нанесение покрытий трением прутка из медьсодержащего материала о поверхность детали [6]. Для фрикционного упрочнения поверхности с одновременным нанесением покрытий (фрикционное плакирование) используется также гибкий инструмент – вращающиеся проволочные щетки (ВПЩ) [7, 8]. Нанесенное покрытие может быть дополнительно обработано лазером [7] или плазмой [9].

Цель настоящей работы – изучение возможности восстановления размеров и формы деталей комбинированной обработкой – накаткой роликом с последующим нанесением функциональных покрытий гибким инструментом.

При проведении исследований использовали образцы диаметром 18 мм из стали 20. Для накатки сетчатого рифления использовался ролик 20×9×8 мм, 0,5 мм × 60°. Накатка и нанесение покрытия производились на токарном станке. При нанесении покрытия на суппорт устанавливалась специальная приставка. Диаметр ВПЩ 220-230 мм, скорость вращения 3 000 об/мин, диаметр стальной проволоки ворса 0,25-0,30 мм, длина 30-40 мм. Материал покрытия (латунь Л-63) в виде прутка диаметром 15 мм прижимался к ВПЩ с усилием 10 Н, натяг – подача ВПЩ на обрабатываемое изделие 2 мм. Поверхность изучалась на стереомикроскопе Meiji Techno. Для металлографических исследований использовали оптический микроскоп Meiji Techno и растровый электронный микроскоп РЭМ JSM-6490 LV.

Было исследовано влияние формообразующей накатки роликом на рельеф и структуру поверхностного слоя. После накатки диаметр образца увеличился на 50 мкм и на его поверхности образовались куполообразные выступы (рис. 1).

Исследование микроструктуры показало, что поверхностный слой подвергся интенсивной пластической деформации (рис. 2, 3), причем имела место и сдвиговая деформация. В результате в структуре об-

разовались деформационные полосы, внутри которых произошла фрагментация с образованием зерен с размером менее 1 мкм (рис. 3). Такую структуру можно считать ультрамелкозернистой.

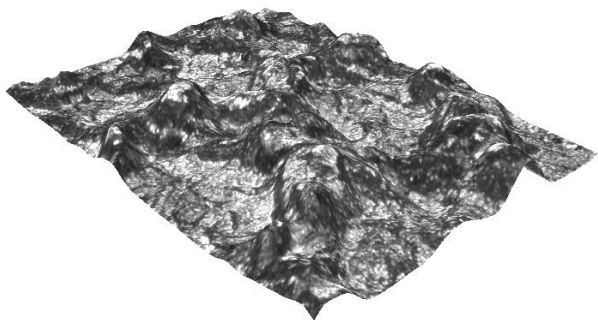


Рис. 1. Накатанная роликком поверхность образца (3Д реконструкция стереоизображения поверхности, $\times 50$)

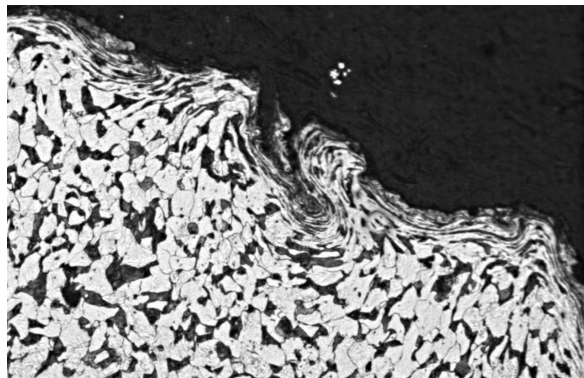


Рис. 2. Микроструктура накатанной роликком поверхности образца (световая микроскопия, $\times 200$)

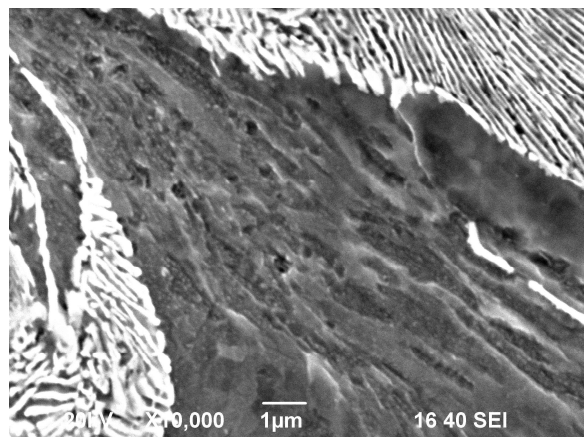


Рис. 3. Поверхностный слой цилиндрического образца после накатки (РЭМ, $\times 3000$)

При нанесении покрытия поверхность вновь подвергалась интенсивной пластической деформации гибкими упругими элементами, и вид ее существенно изменился (рис. 4). Вершины выступов сгладились, покрытие полностью заполнило впадины между выступами (рис. 5, 6). Такая поверхность имеет увеличенную фактическую площадь контакта, обладает

достаточной маслосемкостью, а сглаженные вершины выступов уменьшают концентрацию напряжений при контактных нагрузках.

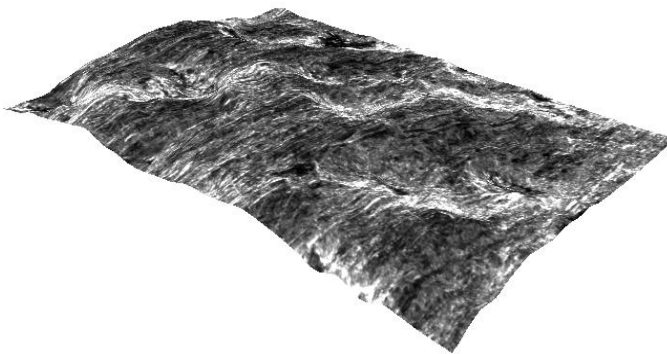


Рис. 4. Накатанная поверхность после нанесения на нее латунного покрытия (3Д реконструкция стереоизображения поверхности, $\times 50$)

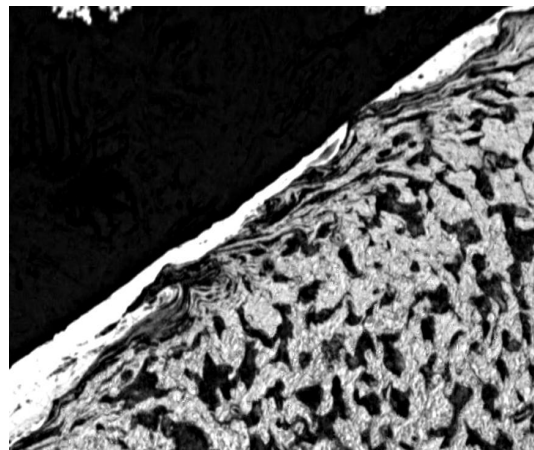


Рис. 5. Микроструктура накатанной роликком поверхности с латунным покрытием (световая микроскопия, $\times 200$)

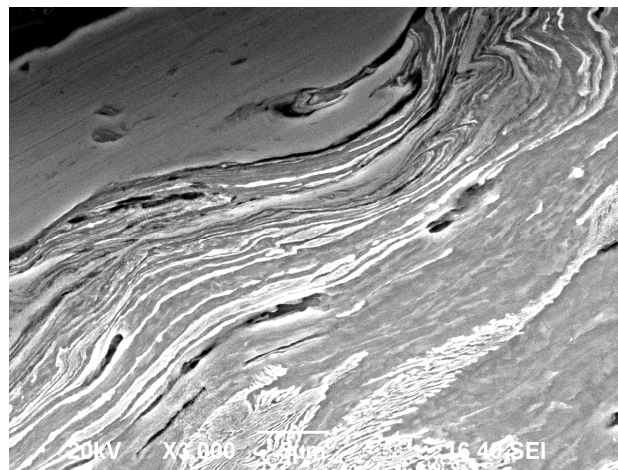


Рис. 6. Накатанная роликком поверхность с латунным покрытием (РЭМ, $\times 3000$)

Заключение. Комбинированная обработка накаткой с последующим фрикционным нанесением функ-

ционального покрытия гибким инструментом позволяет увеличить диаметр изношенной детали, получить ультрамелкозернистую структуру в поверхностном слое за счет ИПД. Функциональные покрытия различного назначения могут наноситься из чистых металлов и сплавов, композитных материалов, в том числе нанокompозиционных.

Список литературы

1. Хворостухин Л.А., Шишкин С.В., Ковалев А.П., Ишмаков Р.А. Повышение несущей способности деталей машин поверхностным упрочнением. М.: Машиностроение, 1988. 144 с.
2. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микро рельефом. Л.: Машиностроение, 1982. 248 с.
3. Макаров А.В., Коршунов Л.Г. Повышение твердости и износостойкости закаленных лазером стальных поверхностей с помощью фрикционной обработки // Трение и износ. 2003. Т. 24. №3. С. 301-306.
4. Макаров А.В., Коршунов Л.Г., Малыгина И.Ю., Солодова И.Л. Повышение теплостойкости и износостойкости закаленных углеродистых сталей фрикционной упрочняющей обработкой // Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov. 2007. №3. С. 57-62.
5. Пашинская Е.Г., Толпа А.А. Возможности интенсивной прокатки со сдвигом для формирования ультрамелкозернистой структуры на примере эвтектидной стали // Металлы. 2004. № 5. С. 85-93.
6. А.с. 115744. Способ придания поверхности металлов трущихся пар противозадирных свойств / Д.Н. Гаркунов, В.И. Лозовский.
7. Белевский Л.С. Пластическое деформирование поверхностного слоя и формирование покрытия при нанесении гибким инструментом. Магнитогорск: Лицей РАН, 1996. 231 с.
8. Анцупов В.П. Теория и практика плакирования гибким инструментом. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 1999. 241 с.
9. Платов С.И., Демя Р.П., Зотов А.В. Модель формирования толщины плакированного слоя на деталях пар трения технологического оборудования // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. № 1. С. 69-72.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

RESTORATION OF DIMENSION AND FORM OF PART BY COMBINED TREATMENT

Belevskiy L.S., Belevskaya I.V., Ephimova Y.Y.

Abstract. Influence of possibility restoration of dimension and form of part by combined treatment – by knurling of roller with following cladding functional coating by flexible tool. That treatment to permit increase diameter of wear part, receive ultra grain structure in surface layer by IPD. Different functional coating may be cladding from pure metals and alloys, composite or nanocomposite materials.

Keywords: restoration of dimensions, knurling, plastic deformation, friction cladding, coating, ultra grain structure.

References

1. Hovorostuhin L.A., Shishkin S.V., Kovalev A.P., Ishmakov R.A. *Povyshenie nesushchei sposobnosti detalej mashin poverhnostnym uprochneniem*. [Increase of bearing ability of details by superficial hardening]. Moscow: Mechanical engineering, 1988. 144 p.
2. Shneider U.G. *Jeksplyuatsionnye svoystva detalej s reguljarnym mikrorel'efom*. [Operational properties of details with a regular microrelief]. Leningrad: Mechanical engineering, 1982. 248 p.
3. Makarov A.V., Korshunov L.G. *Povyshenie tverdosti i iznosostojkosti zakalennyh lazerom stal'nyh poverhnostej s pomoshh'ju frikcionnoj obrabotki*. [Increase of hardness and wear resistance of the steel surfaces tempered by the laser by means of frictional processing]. *Trenie i iznos*. [Friction and wear], 2003, vol.24, no.3, pp. 301-306.
4. Makarov A.V., Korshunov L.G., Malygina I.Yu., Solodova I.L. *Povyshenie teplostojkosti i iznosostojkosti zakalennyh uglerodistykh stalej frikcionnoj uprochnjajushhej obrabotkoj*. [Increase of heat resistance and wear resistance tempered carbonaceous staly frictional strengthening processing]. *Metallovedenie i termicheskaja obrabotka metallov*. [Metallurgical science and heat treatment of metals]. 2007, no.3, pp. 57-62.
5. Pashinskaya E.G., Tolpa A.A. *Vozmozhnosti intensivnoj prokatki so sdvigom dlja formirovaniya ultramelkozernistoj struktury na primere jevtektoidnoj stali*. [Vozmozhnosti's crowd of intensive rolling with shift for formation of ultrafine-grained structure on the example of evtektoidny steel]. *Metally*. [Metals]. 2004. no.5. pp. 85-93.
6. Garkunov D.N., Lozovsky V.I. *Ampere-second 115744. Sposob pridanija poverhnosti metallov trushhihsja par protivozadirnyh svoystv*. [Threw the Way of giving of a surface of rubbing couples of anti-seize properties].
7. Belevskiy L.S. *Plasticheskoe deformirovanie poverhnostnogo sloja i formirovanie pokrytija pri nanesenii gibkim instrumentom*. [Plasticheskoye deformation of a blanket and covering formation when drawing by the flexible tool]. Magnitogorsk: Russian Academy of Sciences lyceum, 1996. 231 p.
8. Antsupov V.P. *Theory and practice of cladding by the flexible tool*. Magnitogorsk: Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov. 1999. 241 p.
9. Platov S.I., Dyoma P.P., Zotov A.V. *Model' formirovaniya tolshhiny plakirovannogo sloja na detaljah par trenija tehnologicheskogo oborudovaniya*. [Model of the formation thickness clad Lauer for friction pairs of process equipment]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov], 2013, no.1. pp. 69-72.

УДК 621.794.61

Коленчин Н.Ф., Кусков В.Н., Сафронов А.В., Шадрин П.Н.

ВЛИЯНИЕ ОЗОНА И УЛЬТРАЗВУКА НА ФОРМИРОВАНИЕ И СВОЙСТВА АНОДНОГО ПОКРЫТИЯ НА АЛЮМИНИИ И ЕГО СПЛАВАХ

Аннотация. Исследованы временные зависимости роста оксидного покрытия при анодировании алюминия АЗ и сплава Д16 в водном растворе серной кислоты с продуванием озono-воздушной смеси через электролит. Установлены интенсификация процесса и увеличение толщины, микротвердости и износостойкости покрытия. Ультразвуковое воздействие одновременно с продуванием озono-воздушной смеси через электролит повышает микротвердость и износостойкость покрытия.

Ключевые слова: анодирование, алюминиевый сплав, озono-воздушная смесь, ультразвук, оксидное покрытие, микротвердость, износостойкость, толщина.

Возможность создания на поверхности алюминия и его сплавов оксидного слоя позволяет существенно повысить эксплуатационные характеристики изделий. Получающееся покрытие обладает высокими корро-

зионной стойкостью и чистотой поверхности, микротвердостью и износостойкостью, электросопротивлением и пробивным напряжением, хорошими декоративными показателями и т.д. В производственных

условиях для получения оксидного слоя широко применяется анодирование в водных электролитах серной, щавелевой или сульфосалициловой кислот.

С целью интенсификации формирования оксидного покрытия на алюминии и его сплавах, повышения его функциональных характеристик технология обработки постоянно совершенствуется, разрабатываются новые составы электролитов. В работе показано влияние ультразвуковой обработки и барботирования водного сернокислотного электролита озono-воздушной смесью на результаты анодирования технического алюминия АЗ и деформируемого сплава Д16.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. Использовали образцы размерами $30 \times 30 \times 2$ мм при температуре $(0 \pm 1)^\circ\text{C}$ и содержании озона в воздушной смеси 3 мг/л, концентрация серной кислоты – от 1 до 10 мас. %. Анодирование образцов выполняли по режиму падающей мощности (при начальном напряжении 75 В), который обычно позволяет формировать пленки большей толщины по сравнению с гальваностатическим. Использовали три различные технологии воздействия на электролит:

№1 – продувку электролита воздухом;

№2 – продувку электролита озono-воздушной смесью;

№3 – продувку электролита озono-воздушной смесью с одновременным ультразвуковым воздействием частотой $2,2 \cdot 10^6$ Гц.

Микротвердость HV оксидных покрытий измеряли на поперечных шлифах с помощью прибора ПМТ-3 при нагрузке на индентор 0,49 Н (в работе указано среднее значение 5-7 измерений), толщину – металлографически на микроскопе МИМ-7 и толщиномером «Константа К-7». Износостойкость определяли по уменьшению толщины покрытия при скольжении со смазкой контр-тела из стали ШХ9 со скоростью 0,5 м/с и нагрузке 49 Н.

Рентгеноструктурные исследования выполняли на дифрактометре ДРОН-3 в $\text{CoK}\alpha$ -излучении. Расшифровку рентгенограмм провели на основе данных американской картотеки ICPDS.

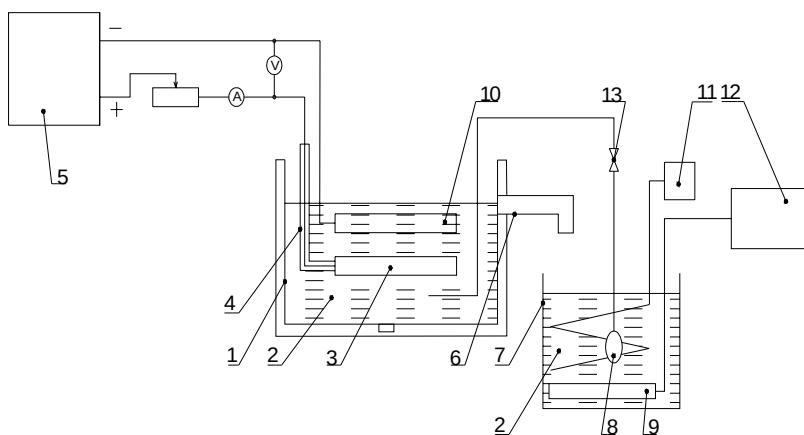
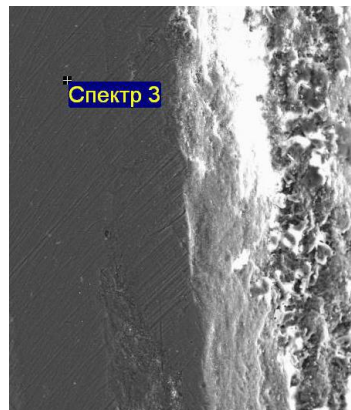


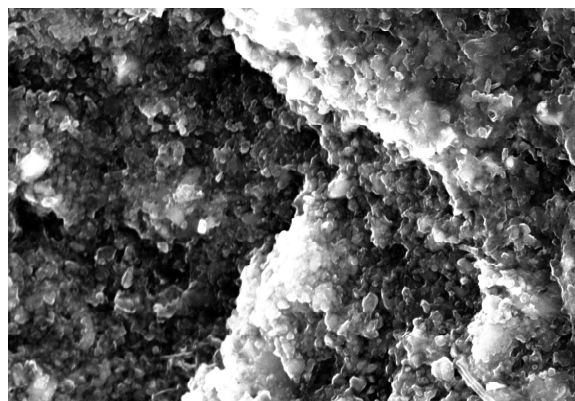
Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – ультразвуковая ванна; 2 – электролит; 3 – анод; 4 – изоляционный материал; 5 – источник постоянного тока; 6 – патрубок; 7 – наполнительная емкость; 8 – насос; 9 – барботер; 10 – катод; 11 – холодильный агрегат; 12 – генератор озона; 13 – регулировочный кран

Количественное соотношение α - и γ -оксидов алюминия в покрытии оценивали по относительным интегральным интенсивностям отражений (102) и (400) соответственно.

На рис. 2 приведены фотографии полученных покрытий при различных увеличениях. Видны отдельные элементы строения анодного слоя.



а



б

Рис. 2. Внешний вид (а, увеличение 110 крат) и строение (б, увеличение 4500 крат) анодного покрытия

На рис. 3 приведены зависимости толщины оксидного покрытия от времени в процессе анодирования.

Установлено, что введение озона в смесь с воздухом увеличивает конечную толщину оксида алюминия на 45-53%. При этом в случае с продувкой воздухом рост покрытия практически стабилизируется к 40-й минуте анодирования, а при использовании озона он продолжается до 50-й минуты, т.е. окислительный потенциал обогащенной озonom смеси выше. Применение ультразвукового воздействия на электролит снижает интенсивность формирования оксидного покрытия, и конечная толщина покрытия за 60 мин анодирования оказывается меньше на 10-13%. По-видимому, ускоряется растравлива-

ющее действие электролита или сказывается кавитационный износ внешней поверхности АОП.

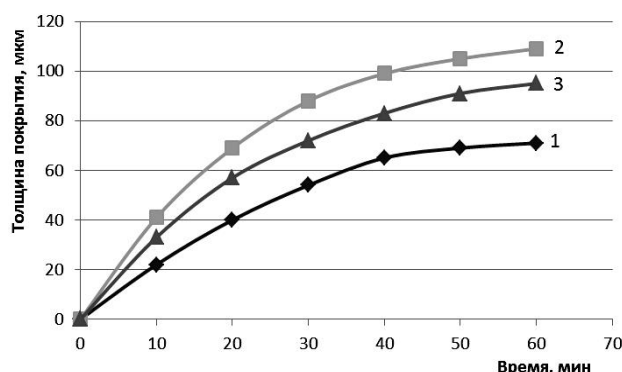


Рис. 3. Изменение толщины покрытия на сплаве Д16 от времени анодирования по технологиям:

1 – в 5%-ной серной кислоте с продувкой электролита воздухом; 2 – в 5%-ной серной кислоте с продувкой электролита озono-воздушной смесью; 3 – в 5%-ной серной кислоте с продувкой электролита озono-воздушной смесью и ультразвуковым воздействием

Результаты определения величин микротвердости и износа оксидных покрытий, полученных при анодировании с начальным напряжением 75 В по различным технологиям, приведены на рис. 4 и 5.

Использование при анодировании продувки электролита озono-воздушной смесью позволяет повысить микротвердость АОП с 5820 МПа (по технологии №1) до 7590 МПа (по технологии № 2), т.е. дает прирост 30%. Дополнительное воздействие ультразвука (по технологии №3) обеспечивает еще 17%-ное повышение микротвердости (до 8910 МПа).

Повышение микротвердости покрытия с обогащением озонem газовой смеси обусловлено увеличением кристаллической составляющей (γ - Al_2O_3) в покрытии (см. таблицу). При этом доля аморфной составляющей в покрытии уменьшилась, о чем свидетельствует сокращение на рентгенограмме гало в интервале углов $2\theta = 20 - 40^\circ$. Ультразвуковое воздействие не только повышает содержание γ - Al_2O_3 в покрытии, но и обеспечивает формирование в нем высокотемпературной аллотропической модификации α - Al_2O_3 . Появление корунда может быть обусловлено как образованием и ростом зародышей α -фазы, так и перекристаллизацией $\gamma \rightarrow \alpha$ при термическом и электрическом воздействии ультразвука.

Результаты рентгеноструктурного анализа анодных покрытий на алюминии А3

Технология анодирования	Интенсивность γ - Al_2O_3	Соотношение интенсивностей α - Al_2O_3 и γ - Al_2O_3
1	25	0
2	79	0
3	69	19 : 81

Формирование более твердого α -оксида алюминия (корунда) установлено и в АОП на сплаве Д16.

Это значительно увеличивает износостойкость анодных покрытий: в 1,7 раза по сравнению с покрытиями, полученными по технологии №2, и в 3,7 раза по сравнению с покрытиями, полученными по технологии №1. Приведенные результаты свидетельствуют о перспективности использования ультразвука в сочетании с продувкой электролита озono-воздушной смесью при анодировании алюминия и его сплавов.

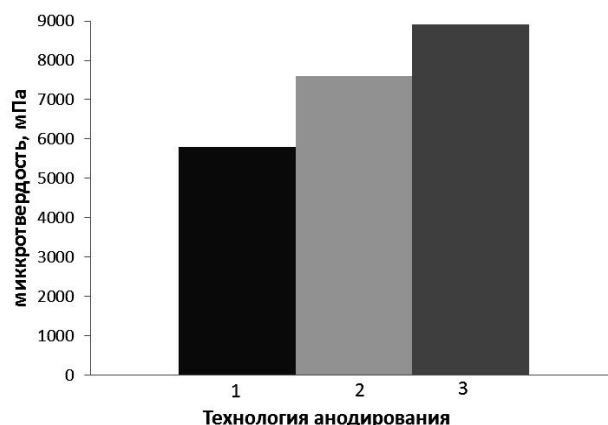


Рис. 4. Величина микротвердости анодных покрытий на алюминии А3, полученных по указанным выше технологиям (обозначения аналогичны рис. 2)

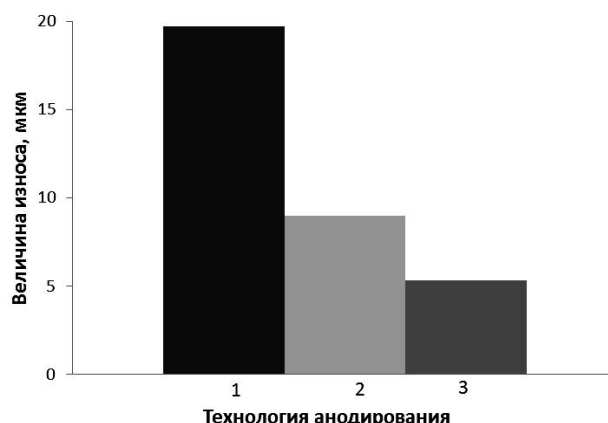


Рис. 5. Величина износа анодных покрытий на сплаве Д16, полученных по указанным выше технологиям (обозначения аналогичны рис. 2)

Технологию анодирования с применением озono-воздушной смеси опробовали на реальных изделиях. Испытания на нефтяных промыслах анодированных деталей из сплава Д16 (обойм подшипников скольжения, защитных рубашек и межсекционных уплотнений насосов системы поддержания пластового давления) показали хорошие результаты: длительность эксплуатации в агрессивных средах при отсутствии ударных нагрузок выросла практически в два раза по сравнению с серийно изготовленными. Толщина оксидного покрытия на корпусе шестеренчатого насоса из сплава АЛ9 составила 30-40 мкм. После эксплуатационных испытаний в течение 2200 ч (3 месяца круглосуточно) величина износа составила 20-26 мкм, в то

время как у серийных корпусов – 148-163 мкм после 1248-1560 ч работы.

Выводы

1. Установлено, что введение озона в воздушную смесь для барботажа электролита при анодировании алюминия А3 и его сплава Д16 в 5%-ном водном растворе серной кислоты увеличивает конечную толщину оксидного покрытия на 45-53%, а одновременное ультразвуковое воздействие и продувка электролита озono-воздушной смесью – только на 30-35%, хотя в последнем случае повышается микротвердость АОП до 8910 МПа.

2. Повышение микротвердости покрытия на алюминии и его сплавах с обогащением озоном газовой смеси обусловлено уменьшением доли аморфной составляющей и увеличением кристаллической составляющей (γ - Al_2O_3) в покрытии до 79%. Ультразвуковое

воздействие одновременно с продувкой электролита озono-воздушной смесью не только повышает содержание γ - Al_2O_3 в покрытии, но и обеспечивает формирование в нем высокотемпературной аллотропической модификации α - Al_2O_3 (корунда).

3. Износостойкость анодных покрытий на сплаве Д16, полученных по технологии №3, увеличилась в 1,7 раза по сравнению с покрытиями, полученными по технологии №2, и в 3,7 раза по сравнению с покрытиями, полученными по технологии №1. Результаты свидетельствуют о перспективности использования ультразвука в сочетании с продувкой электролита озono-воздушной смесью при анодировании алюминия и его сплавов.

4. Эксплуатационные испытания анодированных деталей из сплава Д16 показали увеличение длительности их функционирования в два раза, а из сплава АЛ9 – более чем в пять раз по сравнению с серийными.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

OZONE AND ULTRASOUND INFLUENCE ON FORMING AND PROPERTIES OF ANODE COATING ON ALUMINUM AND ITS ALLOYS

Kolenchin N.Ph., Kuskov V.N., Safronov A.V., Shadrina P.N.

Abstract. The time dependences of oxide coating growth during anodization of aluminum A3 and alloy D16 in aqueous solution of sulfuric acid with aeration of the solution by an ozone-aerial mixture are studied. Thickness, microhardness and wearproofness of the coating are increased thanks to intensification of the anodization processes. Ultra-

sonic influence simultaneously with aeration of the electrolyte by the ozone-aerial mixture increases microhardness and wearproofness of the coating.

Keywords: anodization, aluminium alloy, ozone-aerial mixture, ultrasound, oxide coating, microhardness, wearproofness, thickness.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

УДК 621.77

Голубчик Э.М., Копцева Н.В., Мешкова А.И., Ефимова Ю.Ю., Никитенко О.А., Медведева Е.М.

ВЛИЯНИЕ ОТЖИГА НА ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКЕ ПОЛОС ИЗ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ*

Аннотация. Рассмотрены вопросы формирования лазерного сварного соединения при укрупнении холоднокатаных полос в условиях непрерывных технологических агрегатов в новом комплексе холодной прокатки ОАО «ММК». Представлены результаты металлографических исследований зоны сварного шва в металлопрокате из низкоуглеродистых марок стали, подвергнутого непрерывному отжигу в агрегате АНО.

Ключевые слова: лазерная сварка, полоса, микроструктура, микротвердость, отжиг.

В современной России важными аспектами дальнейшего развития экономики является внедрение и освоение передовых мировых технологий и тенденций на отечественных промышленных предприятиях. На одном из ведущих предприятий металлургической отрасли России ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ММК) ведется освоение новейшей технологии производства современных и перспективных видов холоднокатаной продукции для автомобильной, строительной отраслей промышленности, производства товаров широкого потребления. Летом 2012 г. в листопрокатном цехе № 11 (ЛПЦ-11) ММК была запущена в строй 2-я очередь, включающая агрегат непрерывного отжига, совмещенный с агрегатом непрерывного горячего цинкования (АНО/АГЦ), новый агрегат непрерывного горячего цинкования холоднокатаных полос (АНГЦ-3) и линию инспекции (АИ). Особенностью технологий, осваиваемых в новом комплексе холодной прокатки ММК, явилось применение в головных частях всех линий процесса укрупнения рулонов методом лазерной сварки на сварочных машинах лазерного типа CSLH19 фирмы Miebach. Данный вид технологической операции впервые применен на отечественном прокатном производстве [1]. В мировой практике такой принцип соединения прокатанных полос для формирования бесконечной полосы признан одним из самых современных и перспективных методов соединения металлов, привлекающих внимание в последние годы.

Формирование сварочной ванны и структуры металла шва при лазерной сварке подчиняется общим закономерностям, присущим процессу кристаллизации металла. При этом возникает широкий спектр структур и свойств сварных соединений [2, 3]. Именно поэтому сварку можно считать одним из ведущих технологических процессов, применимых для большинства отраслей промышленности. Однако следует отметить, что в процессах лазерной сварки характер образования сварочной ванны и ее форма как в продольном, так и поперечном сечениях отличается от аналогичных параметров при традиционной дуговой сварке. При этом кристаллическая структура формирующегося сварного соединения имеет большое значение для обеспечения требуемых свойств продукции.

Отсутствие опыта лазерной сварки рулонного металлопроката в технологических потоках вызвало необходимость проведения ряда металлографических исследований сварных соединений холоднокатаной стали, выполненных в линии АНО/АГЦ. Кроме того, возникла необходимость оценки свойств сварного шва, полученного лазерной сваркой и подвергнутого непрерывному рекристаллизационному отжигу для возможности отгрузки рулонного металлопроката со сварным соединением потребителю. В связи с вышесказанным, целью данной работы явилось исследование кристаллических зон в сварных соединениях, полученных при лазерной сварке рулонного металлопроката и последующем отжиге. Учитывая новизну процесса лазерной сварки, на первом этапе исследования проводились на металлопрокате из низкоуглеродистых сталей, на примере марки 08пс.

Работа выполнялась на образцах сварных соединений листовой стали марки 08пс толщиной 0,8 мм, прошедших полную обработку на агрегате АНО, т.е. металл после лазерной сварки был отожжен. Комплекс металлографических исследований был проведен с использованием светового микроскопа Meiji Techno при увеличении от 50 до 1000 крат. Испыта-

* Работа проведена в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, выполняемого с участием российского высшего учебного заведения (договор № 02.G25.31.0040; программы стратегического развития университета на 2012-2016 гг. (конкурсная поддержка Минобрнауки РФ программ стратегического развития ГОУ ВПО), а также гранта в форме субсидии на поддержку научных исследований (соглашение № 14.B37.21.0068).

ния микротвердости осуществляли на твердомере Buehler Micromet методом вдавливания алмазной пирамиды с углом между противоположными гранями 136° в соответствии с ГОСТ 9450-76. Микротвердость измерялась в поперечном сечении нетравленных шлифов в направлении от оси сварного шва к основному металлу в трех зонах по толщине полосы: на периферии вблизи каждой из поверхности полосы со стороны широкой части шва (ряд 1) и со стороны узкой части шва (ряд 3), а также по средней линии сечения (ряд 2), как показано на рис. 1. Замеры выполнялись до тех пор, пока не достигали твердости основного (свариваемого) металла.

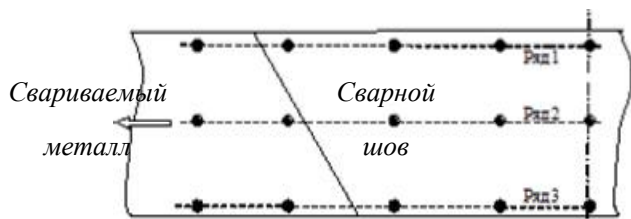


Рис. 1. Схема расположения точек измерения микротвердости

Результаты исследования показали, что распределение микротвердости в сварном соединении в центре и на периферии поперечного сечения (т.е. по толщине листа) практически идентично и в кромочной, и в центральной части листа (рис. 2). Построенные кривые распределения микротвердости позволили также установить, что после отжига листа со сварным соединением зона разупрочнения ни в сварном шве, ни в околошовной области не наблюдается.

Особенности микроструктуры сварного шва и околошовной зоны после осуществления лазерной сварки полосы из стали 08пс без проведения предварительной и окончательной термической обработки (нагрева) зоны шва иллюстрирует рис. 2. В структуре отчетливо идентифицируются следующие структурные зоны: 1 — зона кристаллизации сварного шва, 2 — зона перегрева и роста зерна, 3 — зона нормализации, 4 — зона основного металла и 5 — зона основного металла, не подвергавшегося термическому воздействию тепла сварочной ванны.

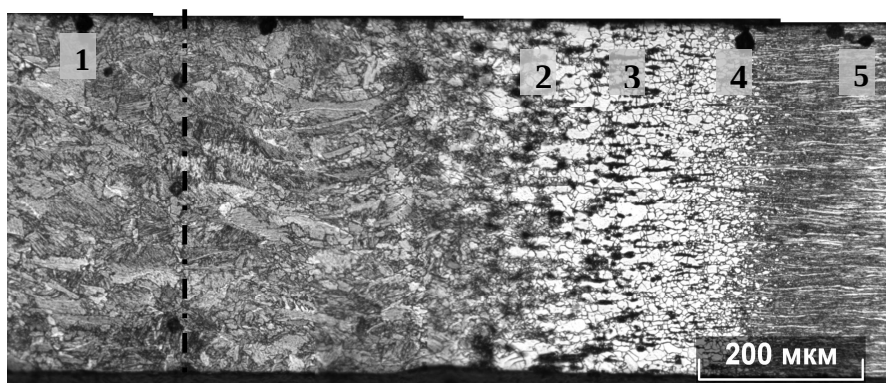


Рис. 2. Панорамная микрофотография микроструктуры в поперечном сечении сварного соединения, полученного лазерной сваркой полосы стали марки 08пс без термической обработки зоны шва

Микроструктура сварного соединения после рекристаллизационного отжига полосы в агрегате АНО в кромочной и в центральной части полосы из стали марки 08пс приведена на рис. 3. При металлографическом анализе было выявлено, что в области сварного соединения наблюдаются следующие зоны: 1 — зона кристаллизации сварного шва, 2 — зона перегрева, 3 — зона нормализации и 4 — зона основного отожженного (рекристаллизованного) металла.

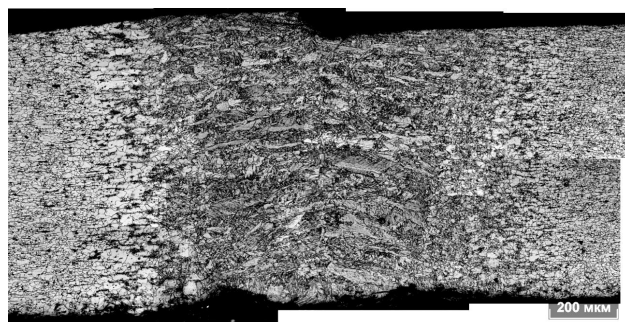
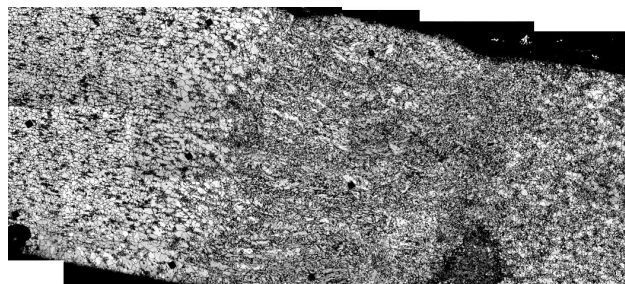


Рис. 3. Микроструктурные зоны лазерного сварного соединения отожженного металлопроката из стали марки 08пс в центральной (а) и кромочной части (б) поперечного сечения полосы

Протяженность каждой зоны, определенная по средней линии сварного соединения, во всех исследованных образцах оказалась примерно одинаковой (см. таблицу). Суммарная протяженность зон сварного шва и околошовной зоны, которая подвергалась тепловому воздействию при формировании сварного шва, в образцах после сварки и после отжига полосы различается незначительно и составляет от 0,71 до 0,76 мм.

Анализ результатов исследований показал, что после отжига микротвердость зоны сварного соединения концов полос, по сравнению с исходным состоянием непосредственно после лазерной сварки, уменьшилась, и ее распределение в различных зонах по толщине полосы стало более однородным (рис. 4, 5). При этом как в центральной, так и в кромоч-

ной частях полосы по ее ширине распределение микротвердости носит практически идентичный характер. Построенные кривые распределения микротвердости позволили также определить, что зона разупрочнения после отжига практически отсутствует.

Протяженность структурных зон лазерного сварного шва и околошовной зоны в металлопрокате из стали марки 08пс

Топография места исследова- ния образца		Протяженность структурных зон сварного шва и околошовной зоны (считая от оси сварного шва), мм				
		кристал- лизации	пере- грева	норма- лизации	рекрист- талли- зации	суммарная (от оси шва до основно- го металла)
После лазерной сварки полосы – головная часть АНО/АГЦ (исходный)		0,36	0,21	0,06	0,08	0,71 (холодно- деформир.)
После отжига полосы – хвостовая часть АНО/АГЦ	кромка	0,38	0,34	0,06	-	0,76 (рекристал- лизован.)
	центр	0,33	0,3	0,08	-	0,71 (рекристал- лизован.)

Сопоставление значений микротвердости зоны лазерного сварного соединения и основного металла полос из стали марки 08пс после отжига представлено на рис. 6.

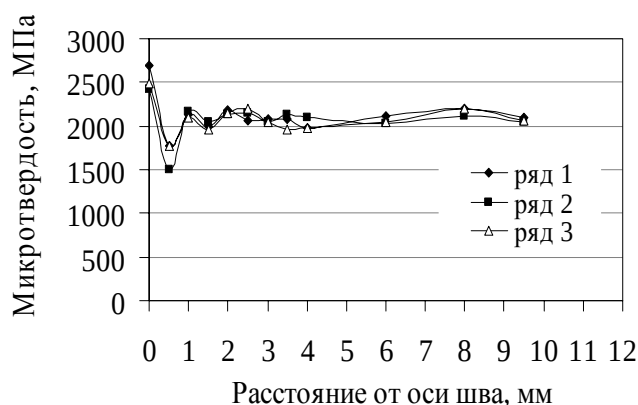


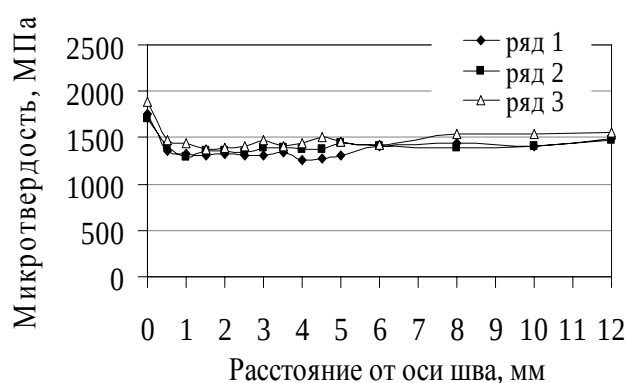
Рис. 4. Распределение микротвердости в различных зонах сварного соединения по сечению полосы непосредственно после лазерной сварки (исходное состояние): вблизи поверхности полосы со стороны широкой части шва (ряд 1), вблизи поверхности полосы со стороны узкой части шва (ряд 3) и по средней линии сечения (ряд 2)

Проведенные исследования позволили установить, что после непрерывного отжига полос со сварным соединением, полученным лазерной сваркой, зона разупрочнения ни в сварном шве, ни в около-

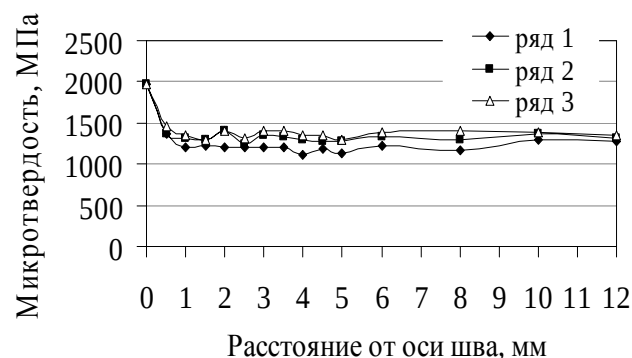
шовной области не наблюдается. Кроме того, анализ распределения значений микротвердости в зоне сварного шва на разных стадиях обработки холоднокатаной полосы выявил следующее:

– непосредственно после лазерной сварки концов нагартованных полос из низкоуглеродистой стали марки 08пс (исходное состояние) микротвердость сварного шва (на его оси) в центральной части по ширине полосы больше микротвердости основного металла на 320 МПа;

– после непрерывного отжига в кромочной части по ширине полосы микротвердость сварного шва (на его оси) больше микротвердости основного металла на 605 МПа, а в центральной части – на 347 МПа.



а



б

Рис. 5. Распределение микротвердости лазерного сварного соединения вблизи поверхности полосы со стороны широкой части шва (ряд 1), вблизи поверхности полосы со стороны узкой части шва (ряд 3) и по средней линии сечения (ряд 2) в поперечном сечении полосы после рекристаллизационного отжига: а – в центральной части ширины полосы; б – в кромочной части ширины полосы

Таким образом, градиент значений микротвердости основного металла и зоны сварного шва после отжига составляет 6,5-9%, в то время как в исходном состоянии непосредственно после лазерной сварки разница достигает 15%.

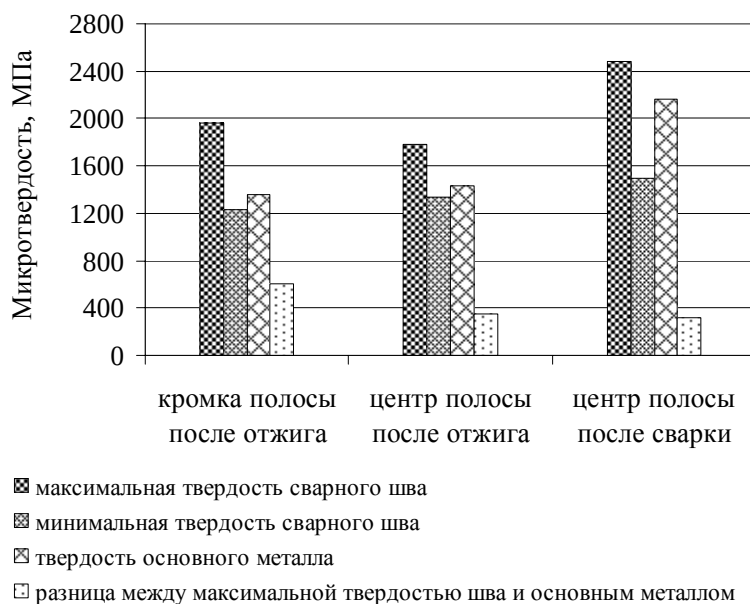


Рис. 6. Микротвердость лазерного сварного соединения полосы из стали 08пс после непрерывного рекристаллизационного отжига

Выводы

Проведенные исследования по характеру формирования микроструктуры и свойств сварных соединений концов холоднокатаных полос, полученных методом лазерной сварки и подвергнутых рекристаллизационному отжигу в агрегате АНО/АГЦ ММК, позво-

лили сформулировать следующие основные выводы:

1. Суммарная протяженность всех зон сварного шва и околошовной зоны в кромочной и центральной части отожженной полосы по ее ширине различается незначительно.

2. Характер распределения микротвердости по толщине полосы как в кромочной, так и в центральной ее части практически одинаков.

3. Разупрочнение металла как непосредственно после формирования лазерного сварного соединения, так и при последующем отжиге ни в кромочной, ни в центральной частях полосы не наблюдается.

Авторы выражают благодарность С.А. Лукьянову, А.В. Горбунову, К.В. Смирнову, Р.Р. Курамышину за оказанное содействие и помощь в организации и проведении исследований.

Список литературы

1. Дубровский Б.А., Шилиев П. В., Ласьков С. А., Горбунов А.В., Лукьянов С.А., Голубчик Э.М. Освоение технологий производства проката в новом комплексе холодной прокатки // Сталь. 2012. № 2. С. 63-65.
2. Ефименко Л.А., Прыгаев А.К., Елагина О.Ю. Металловедение и термическая обработка сварных соединений: учеб. пособие. М.: Логос, 2007. 456 с.
3. Малащенко А.А., Мезенов А.В. Лазерная сварка металлов. М.: Машиностроение, 1984. 44 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

EFFECT OF ANNEALING ON MICROSTRUCTURE AND PROPERTIES OF WELDED JOINTS PRODUCED BY LASER WELDING OF LOW CARBON STEEL STRIPS

Golubchik E.M., Kopceva N.V., Meshkova A.I., Efimova J.J., Nikitenko O.A., Medvedeva E.M.

Abstract. Questions of formation of laser welded joints in cold-rolled strips in a larger continuous technological units are investigated, a new cold rolling mill JSC «ММК». Metallographic investigation results of welding zone in low carbon rolled steel after continuous annealing using ANO are presented.

Keywords: laser welding, band, microstructure, microhardness, annealing.

References

1. Dubrovsky B.A., Shilyaev P.V., Las'kov S.A., Gorbunov A.V., Lukyanov S.A.,

Golubchik E.M. Osvoenie tehnologij proizvodstva prokata v novom komplekse holodnoy prokatki. [Mastery rolled steel produced in a new cold rolling mill complex]. *Stal'*. [Steel], 2012, no.2. pp. 63-65.

2. Efimenko L.A., Prygaev A.K., Elagina O.Yu. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka svarnykh soedinenii*. [Physical metallurgy and heat treatment of welded joints: Instructional. allowance]. Moscow: logos, 2007, 456 p.
3. Malashenko A.A., Mezenov A.V. *Lazernaya svarka metallov*. [Laser welding of metals]. Moscow: Mashinostroenie, 1984. 44 p.

УДК 669.15-196.58'26'292'621.785.616

Корягин Ю.Д., Окишев К.Ю., Созыкина А.С.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА И РЕЖИМА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ХРОМОВАНАДИЕВЫХ ЧУГУНОВ

Аннотация. Рассмотрено влияние содержания углерода и температуры нагрева под закалку на твердость и количество остаточного аустенита износостойких чугунов, содержащих 14% хрома и 3% ванадия. Предложена модель для прогнозирования изменения структурного состава и твердости высокоуглеродистых хромованадиевых сплавов в зависимости от температуры нагрева под закалку.

Ключевые слова: хромованадиевые сплавы, закалка, температура нагрева под закалку, твердость, остаточный аустенит.

Одним из материалов, способных заменить в некоторых условиях изнашивающие дефицитные твёрдые сплавы и вольфрамсодержащие стали, является легированный высокохромистый чугун [1, 2]. Известно, что дополнительно повысить твёрдость и износостойкость хромистых чугунов можно путём термической обработки [2, 3], а также легированием некоторыми элементами, в частности ванадием [4, 5]. Закономерности формирования структуры и свойства хромованадиевых чугунов описаны в ряде работ [4-9]. Целью данной работы было исследование превращений в твёрдом состоянии в чугунах с 14%Cr и 3%V и разработка методики расчётной оценки их фазового состава и твёрдости после закалки.

Была изучена серия из семи сплавов с 14%Cr и 3%V, содержащих от 1,5 до 4,2%С (табл. 1). Выбранное содержание углерода и хрома обуславливает образование в структуре преобладающего количества карбидов типа M_7C_3 , оказывающих положительное влияние на износостойкость.

карбидная фаза большинства исследованных сплавов представлена в основном хромистым карбидом типа M_7C_3 и небольшим количеством карбидов ванадия; лишь в сплаве с 4,2%С были обнаружены также карбиды типа M_3C (см. табл. 1). Микрорентгеноспектральное исследование показало, что наряду с хромом и железом в состав комплексного карбида M_7C_3 входит и ванадий в количестве 7-10%. Это согласуется с данными других исследователей [7, 9, 10].

В зависимости от химического сплавов меняется не только тип и состав карбидных фаз, но и механические свойства. Повышение содержания углерода в чугунах с доэвтектической и эвтектической структурой при постоянной концентрации хрома сопровождается монотонным понижением их предела прочности при изгибе $\sigma_{\text{и}}$ и стрелы прогиба f (см. табл. 1).

Критические точки исследованных сплавов определяли на образцах, предварительно отожжённых в течение 3 ч при температуре 680°C с целью разложения мартенсита и остаточного аустенита на ферритно-карбидную структуру. Нагрев образцов в печи dilatометра осуществляли со скоростью 5 К/с до температуры 1000°C, а охлаждение производили либо в кварцевых трубках на воздухе (откачивалась печь dilatометра, скорость охлаждения 15 К/с), либо с печью (0,4 К/с). В первом случае аустенит претерпевал мартенситное превращение, а во втором наблюдался распад аустенита по диффузионному механизму. Температуры превращения, полученные при нагреве и охлаждении, приведены в табл. 2.

Таблица 1

Химический состав изученных сплавов, мас. % (остальное – Fe), состав карбидной фазы, твёрдость HRC_3 и механические свойства в литом состоянии

Обозначение	C	Cr	V	Состав карбидной фазы	Твёрдость HRC_3	$\sigma_{\text{и}}$, МПа	f , мм
150X14Ф3	1,55	13,52	3,08	—	—	—	—
200X14Ф3	1,91	13,96	3,24	$M_7C_3 + VC$	41	—	—
250X14Ф3	2,53	13,70	3,20	$M_7C_3 + VC$	43	770	1,92
270X14Ф3	2,66	13,75	3,07	$M_7C_3 + VC$	44	—	—
300X14Ф3	3,05	13,81	3,09	$M_7C_3 + VC$	47	727	1,70
350X14Ф3	3,54	13,79	3,12	$M_7C_3 + VC$	48,5	663	1,57
420X14Ф3	4,20	13,75	3,10	$M_7C_3 + M_3C + VC$	49,5	—	—

Микроструктура чугунов изучалась при помощи оптического микроскопа Neophot-2. Объёмная доля карбидной составляющей определялась методом секущих; при подсчёте объёмной доли карбидной фазы для каждого сплава проводили не менее 100 секущих. Количественный и качественный карбидный анализ осуществлялся путём изолирования осадка в электролите, содержащем (на 1 л) 75 г KCl, 50 мл HCl, 2 г тиомочевины, остальное вода, при плотности тока 0,03 А/см² при 18°C в течение 30 мин. Количественное определение содержания элементов в осадке производили обычными методами аналитической химии.

Микроструктуры некоторых исследованных хромованадиевых чугунов, отлитых в песчано-глинистые формы и охлаждённых на воздухе, приведены на рис. 1. В доэвтектических сплавах (рис. 1, а-в) отчетливо видны дендриты первичного аустенита и аустенито-хромистокарбидная эвтектика, которая имеет вид «розеток». Установлено, что повышение содержания углерода сверх эвтектической концентрации, то есть более 3,5% для сплавов с 14% хрома, сопровождается появлением в структуре крупных первичных карбидов (рис. 1, г). От их периферии развиваются ячейки эвтектики, состоящей из аустенита и карбидов. Проведёнными в работе фазовым и рентгеноструктурным анализами осадков установлено, что

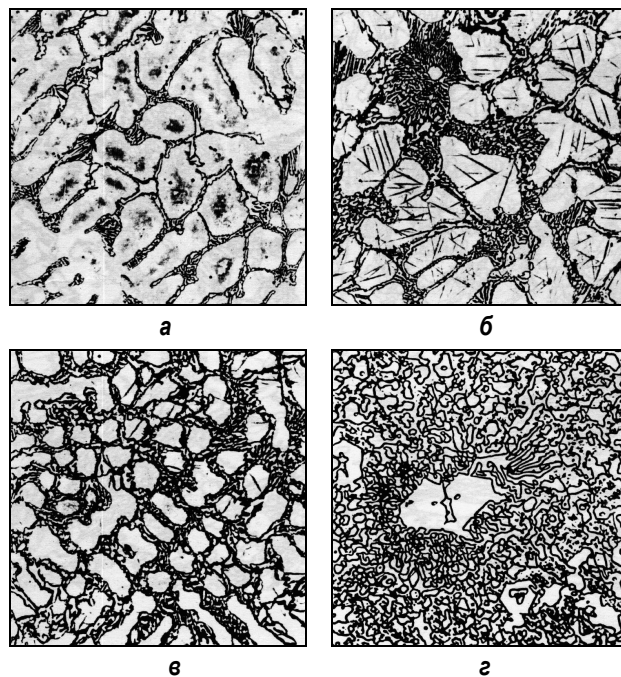


Рис. 1. Микроструктура литых хромованадиевых сплавов с 14% хрома, $\times 200$: а – 150X14Ф3; б – 200X14Ф3; в – 300X14Ф3; г – 420X14Ф3

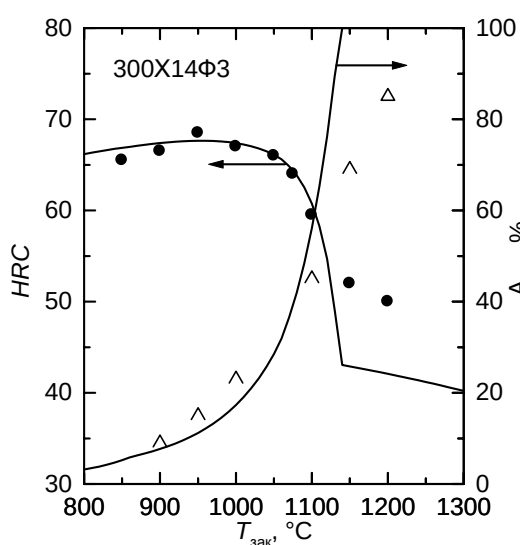
Таблица 2

Критические точки и мартенситная точка сплавов, °C

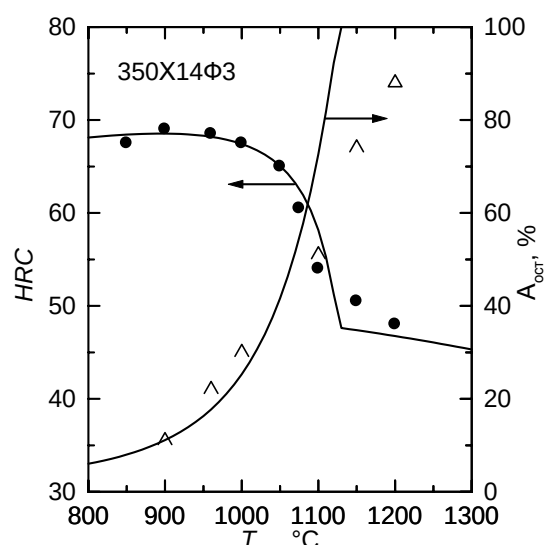
Сплав	При нагреве до 1000°C со скоростью 5 К/с		При охлаждении от 1000°C со скоростью 0,4 К/с	При охлаждении от 1000°C со скоростью 15 К/с	
	A_{C1}	A_{C3}	A_{r3}	A_{r1}	M_s
150X14Ф3	850	890	760	705	280
200X14Ф3	845	880	750	700	260
250X14Ф3	840	875	745	690	225
300X14Ф3	805	860	740	700	180
350X14Ф3	785	845	740	695	150
420X14Ф3	770	815	730	695	115

Как известно, с повышением температуры аустенитизации ледебуритных сплавов возрастает легиро-

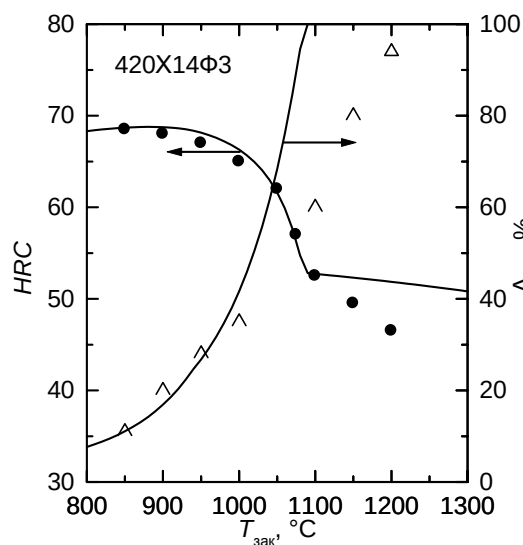
ванность твёрдого раствора, что приводит к росту устойчивости аустенита в перлитной области и понижению температуры начала мартенситного превращения. В настоящем исследовании температуру аустенитизации варьировали в интервале 850-1200°C с шагом 25-50°C; время выдержки при температуре аустенитизации составляло 60 мин. Кривые зависимости твёрдости закалённых сплавов от температуры аустенитизации обнаруживают характерный максимум твёрдости, который с увеличением содержания углерода в сплавах сдвигается в сторону более низких температур (рис. 2). Значения оптимальных температур закалки сплавов и максимальная твёрдость, достигаемая при этом, приведены на рис. 2, г. Наибольшая твёрдость (HRC₃, 68,0-68,5) для сплавов с 14% хрома достигается при 3,5% углерода.



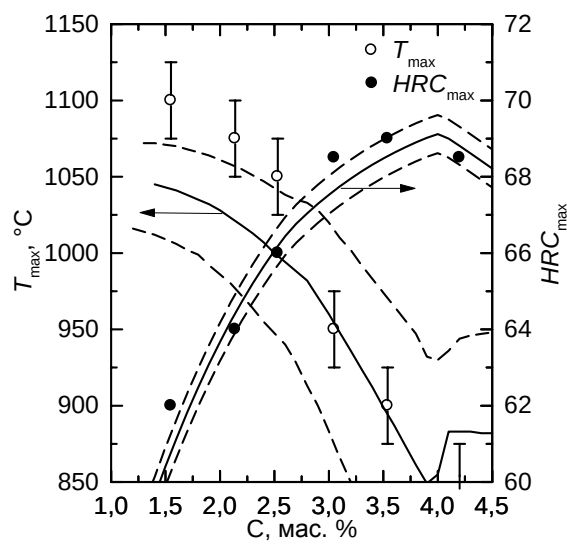
а



б



в



г

Рис. 2. Сопоставление результатов эксперимента и расчёта

Рассмотрим более подробно характер изменения микроструктуры в сопоставлении с кривой изменения твёрдости сплава 300X14Ф3 в зависимости от температуры нагрева под закалку (рис. 2, б). Его твёрдость достигает максимального значения HRC_3 68 после закалки от 950°C (рис. 2, а), затем постепенно снижается и при закалке от температуры 1200°C становится равной HRC_3 50. По-видимому, при 1150-1200°C происходит интенсивное понижение температуры M_s вследствие растворения не только карбидов типа M_7C_3 , но и карбидов ванадия [10]. Химический анализ карбидных осадков сплава 300X14Ф3 показал, что с повышением температуры от 900 до 1150°C концентрация углерода в аустените увеличивается от 0,7 до 1,25% при одновременном увеличении содержания хрома от 3,1 до 6,5% (рис. 3, а).

Для расчётной оценки влияния температуры нагрева под закалку на структуру и твёрдость хромо-ванадиевых сплавов используем методику, описанную в работе [11] применительно к тройным сплавам Fe–Cr–C. Хотя ванадий частично растворяется в карбидах M_7C_3 , для простоты будем считать, что он полностью находится в виде карбидов VC, имеющих стехиометрический состав и не растворяющихся при нагреве, а железо, хром и углерод при нагреве под закалку приходят к термодинамическому равновесию. Поскольку x_V^0 молей ванадия связывают в карбид $\Delta x_C = x_V^0$ молей углерода, то массовая доля карбида VC будет равна

$$f_{VC} = w_V^0 \cdot (1 + A_C/A_V) = 1,2358 \cdot w_V^0 = 0,0383, \quad (1a)$$

а при расчёте фазовых равновесий вместо исходных концентраций элементов в сплаве w_C^0 и w_{Cr}^0 следует использовать эффективные значения:

$$w_C = \frac{w_C^0 - w_V^0 \cdot A_C/A_V}{1 - w_V^0 \cdot (1 + A_C/A_V)} = \frac{w_C^0 - 0,2358 \cdot w_V^0}{1 - 1,2358 \cdot w_V^0}; \quad (1б)$$

$$w_{Cr} = \frac{w_{Cr}^0}{1 - w_V^0 \cdot (1 + A_C/A_V)} = \frac{w_{Cr}^0}{1 - 1,2358 \cdot w_V^0} \quad (1в)$$

(A_C и A_V — атомные массы углерода и ванадия).

Расчёт термодинамического равновесия в тройном сплаве Fe–Cr–C такого состава осуществлялся с использованием термодинамической модели Ли [12] путём численного решения системы, содержащей уравнения равенства химических потенциалов компонентов в фазах [13] и уравнение, отражающее баланс концентраций (правило рычага). В изученном диапазоне температур и составов все сплавы находятся в области равновесия γ -твёрдого раствора (аустенита) и карбида $(Cr, Fe)_7C_3$; лишь у сплава с 4,2%С ниже 940°C фигуративная точка оказывается в трёхфазной области $\gamma + M_7C_3 + M_3C$. С ростом содержания углерода в сплавах количество карбида M_7C_3 растёт, а равновесное содержание хрома в нём снижается. При

этом γ -фаза обогащается углеродом и обедняется хромом (рис. 3).

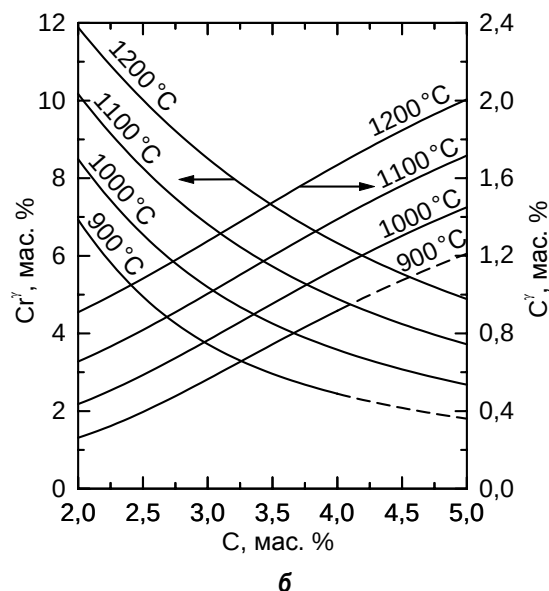
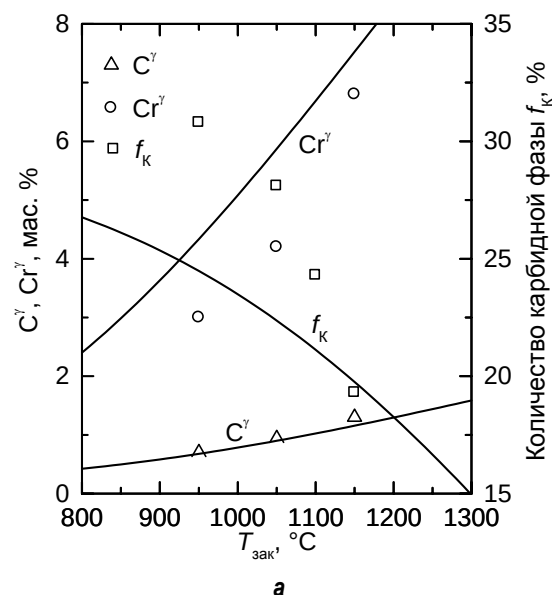


Рис. 3. Концентрация элементов в аустените и количество карбидной фазы в сплаве 300X14Ф3 после нагрева до различных температур (а; точки – эксперимент, линии – расчёт) и рассчитанное содержание хрома и углерода в аустените при различных температурах (б) в зависимости от общего содержания углерода в сплавах

Чтобы определить твёрдость сплава после закалки, необходимо оценить положение его мартенситной точки, количество мартенсита и остаточного аустенита и твёрдость всех фаз. Для расчёта положения M_s в [11] применялась специально подобранная эмпирическая формула, однако в данной работе вместо неё были использованы формулы, описывающие положение мартенситных III и IV ступеней $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения в сплавах Fe–Cr–C по данным [14-17]:

$$M_s^{\text{III}} = \begin{cases} 540 - 8 \cdot \text{Cr}^\gamma - (380 + 26 \cdot \text{Cr}^\gamma) \cdot C^\gamma & \text{при } \text{Cr}^\gamma \leq 4; \\ 540 - 8 \cdot \text{Cr}^\gamma - (220 + 66 \cdot \text{Cr}^\gamma) \cdot C^\gamma & \text{при } \text{Cr}^\gamma > 4; \end{cases} \quad (2a)$$

$$M_s^{\text{IV}} = \begin{cases} 420 - 5 \cdot \text{Cr}^\gamma - (206 + 13,5 \cdot \text{Cr}^\gamma) \cdot C^\gamma & \text{при } \text{Cr}^\gamma \leq 6; \\ 420 - 5 \cdot \text{Cr}^\gamma - (116 + 28,5 \cdot \text{Cr}^\gamma) \cdot C^\gamma & \text{при } \text{Cr}^\gamma > 6; \end{cases} \quad (2б)$$

в качестве действительной величины M_s принимается более высокая из двух:

$$M_s = \max(M_s^{\text{III}}, M_s^{\text{IV}}). \quad (2в)$$

Количество остаточного аустенита оценивали по формуле Койстинена–Марбурга

$$f_{\text{Аост}} = \exp(-0,011(M_s - T_{\text{охл}})), \quad (3)$$

где $T_{\text{охл}}$ — температура, до которой производится охлаждение (20°C).

Выражения для микротвёрдостей карбидов, мартенсита и остаточного аустенита приведены в [11]; вклад всех фаз в общую твёрдость сплава считался аддитивным.

Пример результатов расчёта для сплавов с 3,0; 3,5 и 4,2%С показан на рис. 2, а-в. На рис. 2, г приведена также расчётная зависимость температуры нагрева под закалку T_{max} , обеспечивающей максимальную твёрдость, и величины максимальной твёрдости от содержания углерода в сплаве (пунктиром указана полоса разброса, соответствующая отклонению T_{max} на 0,5 единицы HRC от максимального значения). В целом наблюдается хорошее согласие с экспериментом; отличия несколько увеличиваются при высоких температурах нагрева, возможно, из-за неточности формулы (2б) при повышенных содержаниях хрома и углерода в аустените.

Выводы

Исследованы закономерности формирования структуры и свойств хромованадиевых чугунов с 14%Cr и 3%V. Установлено, что ванадий находится не только в твёрдом растворе и входит в состав карбида M_7C_3 , но и образует собственные карбиды VC. На основании анализа структуры и свойств определены оптимальные температуры закалки, обеспечивающие максимальную твёрдость. Предложена методика

прогнозирования твёрдости сплавов в зависимости от состава и температуры нагрева под закалку.

Список литературы

1. Мирзаев Д.А., Мирзаева Н.М., Емельюшин А.Н. Ледебуритные сплавы для инструментов, обрабатывающих графит // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1988. № 7. С. 31-34.
2. Емельюшин А.Н., Мирзаев Д.А., Мирзаева Н.М. и др. *Металловедение, физика и механика применительно к процессу обработки графитированных материалов. Структура и износостойкость инструментов*. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2002. 200 с.
3. Цыпин И.И. Белые износостойкие чугуны: структура и свойства. М.: *Металлургия*, 1983. 176 с.
4. Жуков А.А. Сильман Г.И., Фрольцов М.С. Износостойкие отливки из комплексно-легированных белых чугунов. М.: *Машиностроение*, 1984. 104 с.
5. Емельюшин А.Н. Разработка нового класса ледебуритных сплавов для инструментов, обрабатывающих неметаллические материалы в условиях умеренного нагрева режущей кромки: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Челябинск, 2000. 44 с.
6. Корягина Т.И., Ибрагимов Х.М. Влияние режимов термической обработки на твёрдость и износостойкость хромованадиевых чугунов // *Вопросы производства и обработки стали*. Челябинск: ЧПИ, 1983. С. 91-95.
7. Maratray F., Poulalion A., Fillit R., Bruyas H. The role of vanadium in high chromium white irons. *Bulletin du cercle d'études des métaux*, 1983, vol.15, no.4. pp. 17-34.
8. Колокольцев В.М., Петроченко Е.В., Молочков П.А. Структура и износостойкость хромованадиевых чугунов // *Изв. вузов. Чёрная металлургия*. 2004. №7. С. 25-28.
9. Петроченко Е.В., Валишина Т.С. Влияние химического состава, условий кристаллизации и режимов термической обработки на особенности микроструктуры, механические и специальные свойства белых хромованадиевых чугунов // *Изв. вузов. Чёрная металлургия*. 2009. №2. С. 39-42.
10. Сильман Г.И., Фрольцов М.С., Жуков А.А., Прудников А.Н. Особенности микроструктуры и распределения элементов в комплексно-легированных белых чугунах // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1981. №1. С. 52-55.
11. Окишев К.Ю., Созыкина А.С. Изменение структуры и твёрдости высокохромистых сталей и чугунов с температурой нагрева под закалку // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия»*. 2011. № 14. Вып. 16. С. 67-70.
12. Lee B.-J. On the stability of Cr carbides // *CALPHAD*. 1992. V. 16. No. 2. P. 121-149.
13. Попов В.В. Моделирование превращений карбонитридов при термической обработке сталей. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 380 с.
14. Мирзаев Д.А., Штейнберг М.М., Пономарёва Т.Н., Счастливцев В.М. Влияние скорости охлаждения на положение мартенситных точек. Углеродистые стали // *Физика металлов и металловедение*. 1979. Т. 47. Вып. 1. С. 125-135.
15. Мирзаев Д.А., Карзунов С.Е., Счастливцев В.М., Яковлева И.Л., Харитонов Е.В. Гамма→альфа превращение в низкоуглеродистых сплавах Fe-Cr // *Физика металлов и металловедение*. 1986. Т. 61. Вып. 2. С. 331-338.
16. Мирзаев Д.А., Карзунов С.Е., Счастливцев В.М., Яковлева И.Л., Харитонов Е.В. Особенности мартенситного и бейнитного превращения в хромистых сталях // *Физика металлов и металловедение*. 1986. Т. 62. Вып. 2. С. 318-327.
17. Счастливцев В.М., Мирзаев Д.А., Яковлева И.Л. Структура термически обработанной стали. М.: *Металлургия*, 1994. 288 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

ESTIMATION OF CARBON CONTENT AND HEAT TREATMENT EFFECTS ON PHASE COMPOSITION OF CHROMIUM-VANADIUM CAST IRONS

Koryagin Yu.D., Okishev K.Yu., Sozykina A.S.

Abstract. The paper considers the effect of carbon content and heating temperature on hardness and the amount of retained austenite after quenching in wear-resistant cast irons containing 14% chromium and 3% vanadium. A model for calculation of structural composition and hardness of high-carbon alloys containing chromium and vanadium quenched from a certain temperature is also proposed.

Keywords: chromium- and vanadium-containing alloys, quenching, heating temperature for quenching, hardness, retained austenite.

References

1. Mirzaev D.A., Mirzaeva N.M., Emelyushin A.N. Ledeburite alloys for tools for machining of graphite. *Metallvedenie i termicheskaja obrabotka metallov*. [Metal Science and Heat Treatment]. 1988, vol. 30, no.7, pp. 519-523.
2. Emelyushin A.N., Mirzaev D.A., Mirzaeva N.M. et al. *Metallvedenie, fizika i mekhanika primenitel'no k protsessu obrabotki grafitirovannykh materi-*

- alov. *Struktura i iznosostoykost' instrumentov* [Metal science, physics and mechanics applied to the process of machining of graphitized materials]. Magnitogorsk: Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov, 2002. 200 p.
3. Tsypin I.I. *Belye iznosostoykie chuguny: struktura i svoystva* [Wear-resistant white cast irons: structure and properties]. Moscow: Metallurgiya, 1983. 176 p.
 4. Zhukov A.A., Sil'man G.I., Frol'tsov M.S. *Iznosostoykie otlivki iz kompleksno-legirovannykh belykh chugunov* [Wear-resistant castings from complex alloyed white cast irons]. Moscow: Mashinostroyeniye, 1984. 104 p.
 5. Emelyushin A.N. *Razrabotka novogo klassa ledeburitnykh splavov dlya instrumentov, obrabatyvayushchikh nemetallicheskie materialy v usloviyakh umerennogo nagreva rezhushchey kromki*. Extended abstract of PhD dissertation. [Development of a new class of ledeburite alloys for tools for machining of non-metallic materials under the condition of moderate heating of cutting edge]. Chelyabinsk, 2000. 44 p.
 6. Koryagina T.I., Ibragimov Kh.M. *Vliyaniye rezhimov termicheskoy obrabotki na tverdosť i iznosostoykost' khromovanadiyevykh chugunov* [Effect of heat treatment on hardness and wear resistance of chromium-vanadium cast irons]. *Voprosy proizvodstva i obrabotki stali* [Problems of production and treatment of steel]. Chelyabinsk: ChPI, 1983. pp. 91-95.
 7. Maratray F., Poulalion A., Fillit R., Bruyas H. The role of vanadium in high chromium white irons. *Bulletin du cercle d'études des métaux*. 1983, vol.15, no.4, pp. 17-34.
 8. Kolokol'tsev V.M., Petrochenko E.V., Molochkov P.A. *Struktura i iznosostoykost' khromovanadiyevykh chugunov* [Structure and wear resistance of chromium-vanadium cast irons]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Chernaya metallurgiya* [Proceedings of higher education institutes. Ferrous metallurgy]. 2004. no.7. pp. 25-28.
 9. Petrochenko E.V., Valishina T.S. *Vliyaniye khimicheskogo sostava, usloviy kristallizatsii i rezhimov termicheskoy obrabotki na osobennosti mikrostruktury, mekhanicheskie i spetsial'nye svoystva belykh khromovanadiyevykh chugunov*. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Chernaya metallurgiya* [Proceedings of higher education institutes. Ferrous metallurgy]. 2009. no.2. pp. 39-42.
 10. Sil'man G.I., Frol'tsov M.S., Zhukov A.A., Prudnikov A.N. *Osobennosti mikrostruktury i raspredeleniya elementov v kompleksno-legirovannykh belykh chugunakh*. [Characteristics of the microstructure and distribution of elements in complex-alloy white cast irons]. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov*. [Metal Science and Heat Treatment]. 1981, vol. 23, no 1, pp. 64-68.
 11. Okishev K.Yu., Sozykina A.S. *Izmeneniye struktury i tverдости vysokokhromistyykh staley i chugunov s temperaturoy nagreva pod zakalku* [Structure and hardness changes with hardening temperature in high-chromium steels and cast irons]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Metallurgiya"* [Bulletin of South Ural State University. Ser. "Metallurgy"], 2011, no.14, issue 16, pp. 67-70.
 12. Lee B.-J. On the stability of Cr carbides. *CALPHAD*, 1992, vol.16, no.2, pp. 121-149.
 13. Popov V.V. *Modelirovaniye prevrashcheniy karbonitridov pri termicheskoy obrabotke staley* [Modelling of carbonitride transformations in heat treatment of steels]. Ekaterinburg: UrO RAN, 2003, 380 p.
 14. Mirzayev D.A., Steynberg M.M., Ponomareva T.N., Schastlivtsev V.M. *Vliyaniye skorosti ohlazhdeniya na polozheniye martensitnykh tochek. Uglerodistyie stali*. [Influence of cooling rate on the position of martensitic transformation points. carbon steels]. *Fizika metallov i metallovedeniye*. [Physics of Metals and Metallography], 1979, vol. 47, no.1, pp. 102-111.
 15. Mirzayev D.A., Karzunov S.Ye., Schastlivtsev V.M., Yakovleva I.L., Kharitonova Ye.V. [Gamma→alpha transformation in low-carbon Fe-Cr alloys]. *Fizika metallov i metallovedeniye*. [Physics of Metals and Metallography], 1986, vol. 61, no.2, pp. 114-122.
 16. Mirzayev D.A., Karzunov S.Ye., Schastlivtsev V.M., Yakovleva I.L., Kharitonova Ye.V. [Peculiarities of martensite and bainite transformations in chromium steels]. *Fizika metallov i metallovedeniye*. [Physics of Metals and Metallography], 1986, vol.62, no.2, pp. 100-109.
 17. Schastlivtsev V.M., Mirzayev D.A., Yakovleva I.L. *Struktura termicheskoy obrabotannoy stali* [Structure of heat treated steel]. Moscow: Metallurgiya, 1994, 288 p.

УДК 621.778

Загиров Н.Н., Иванов Е.В., Ковалева А.А., Аникина В.И.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ГОРЯЧЕПРЕССОВАННЫХ ПРУТКОВ, ПОЛУЧАЕМЫХ ИЗ СЫПУЧЕЙ СТРУЖКИ СВИНЦОВОЙ ЛАТУНИ

Аннотация. Рассмотрена схема изготовления горячепрессованных прутков из стружковых отходов свинцовой латуни, не предусматривающая в технологической цепочке плавильный передел. Изучено влияние на структуру и свойства получаемых горячей экструзией прутков типа используемой стружки, формы поперечного сечения пресс-изделия, коэффициента вытяжки.

Ключевые слова: сортная сыпучая стружка, свинцовая латунь, технологическая схема, пруток, брикетирование, горячая экструзия, структура, твердость.

При производстве полуфабрикатов и изделий из цветных металлов и сплавов, в том числе и свинцовых латуней, всегда актуальным остается вопрос вовлечения в производственный оборот образующихся на том или ином этапе их изготовления отходов в виде сыпучей стружки и опилок. Чем мельче стружка, тем технически труднее, энергетически затратнее и, как следствие этого, экономически невыгоднее перерабатывать ее через применяемый в настоящее время плавильный передел. Это обусловлено рядом причин, одна из которых связана с тем, что при загрузке такого рода отходов в плавильную ванну в свободном состоянии часть металла просто сгорает, часть переходит в шлак, в результате чего выход годного будет относительно невысоким.

Альтернативой традиционному способу переработки сортных сыпучих стружковых отходов может служить подход, основанный на комбинировании приемов порошковой металлургии и традиционных про-

цессов обработки давлением. При реализации его, естественно, должны обязательно учитываться два аспекта. Первый из них связан с удовлетворением качественных характеристик получаемых из стружки изделий требованиям потенциальных потребителей продукции, основанных на соблюдении соответствующих технических условий или других регламентирующих документов. Другой заключается в снижении трудоемкости изготовления изделий из стружки за счет перехода от традиционного способа ее переработки к предлагаемому, и как следствие этого, уменьшении себестоимости и цены произведенной продукции.

В работе анализируется только первый из упомянутых выше аспектов, для рассмотрения которого была выбрана сортная сыпучая стружка свинцовой латуни ЛС59-1 разных типов, образование каждого из которых происходило на определенном этапе осуществления производственного процесса изготовления проволоки из литой заготовки в ООО «Тумский

завод ОЦМ». Известно [1], что свинец, вводимый в состав сплавов цветных металлов для улучшения их обрабатываемости резанием, способствует образованию гетерогенной структуры, в которой прослойки второй фазы имеют резко отличные свойства от матрицы. Это позволяет получать при резании достаточно мелкую сыпучую стружку. Учитывая, что сбор стружки был организован достаточно четко, а при обработке резанием какие-то специальные смазывающе-охлаждающие жидкости не использовались, предварительная обработка стружки, заключающаяся в проведении различного рода трудоемких операций, типа сортировки, сепарации, измельчения, промывки и др., в работе не проводилась.

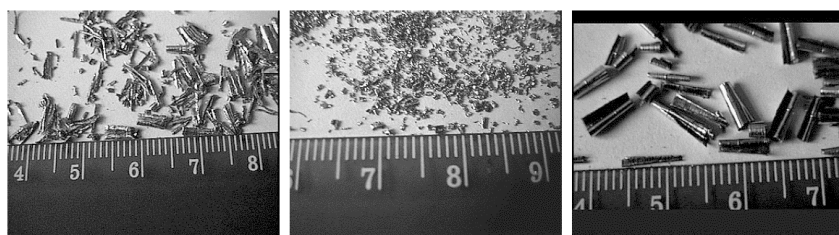
Была поставлена задача – изучить влияние типа исходной стружки, взятой для одного материала, но при обработке резанием разных по свойствам полуфабрикатов, на характер формирования структуры и свойств получаемых горячей экструзией прутков, а также провести сопоставление их с характеристиками прессованных прутков, изготовленных из литой заготовки, закрепленных в соответствующем ГОСТ. Основанием для выводов должны были служить результаты металлографических исследований и механических испытаний на твердость образцов прутков различной формы поперечного сечения и диаметра, полученных по неизменной общей схеме, включающей стадии:

а) горячее брикетирование стружки при температуре нагрева пресс-формы 450°C, давлении брикетирования 200 МПа, времени выдержки под давлением 5 мин, с получением брикетов диаметром 40 мм, высотой 30-40 мм и относительной плотностью 90-95%;

б) нагрев брикетов до температуры 800°C в отдельно стоящей печи, перенос и помещение их в смонтированную на столе вертикального гидравлического пресса усилием 1 МН инструментальную оснастку, нагретую до температуры 430-450°C;

в) горячую экструзию прямым методом через коническую матрицу с определенным коэффициентом вытяжки и смазкой контактных поверхностей смесью на основе графита.

Общее представление о видах используемой для проведения исследований стружки и опилок дают фотографии, приведенные на рис. 1.



Тип 1

Тип 2

Тип 3

Рис. 1. Вид исходной стружки, используемой при проведении исследований

Стружка была взята на предприятии после выполнения следующих этапов реализации общей цепочки технологических операций:

а) резки слитков-столбов на мерные длины с помощью дисковой пилы (обозначение при последую-

щем изложении – тип 1);

б) резки горячепрессованных прутков на мерные длины с помощью отрезного станка (тип 2);

в) изготовления из отпрессованных прутков образцов для проведения механических испытаний на токарном станке (тип 3).

Горячей экструзией получали прутки круглого сечения диаметрами 12 мм (коэффициент вытяжки μ при этом составлял порядка 14), 8 мм ($\mu \approx 32$) и 6 мм ($\mu \approx 56$), а также прутки сечением – правильный шестигранник со стороной 6 мм ($\mu \approx 17$) и квадрат со стороной 10 мм ($\mu \approx 16$). Внешний вид вырезанных из некоторых прутков темплетов приведен на рис. 2.

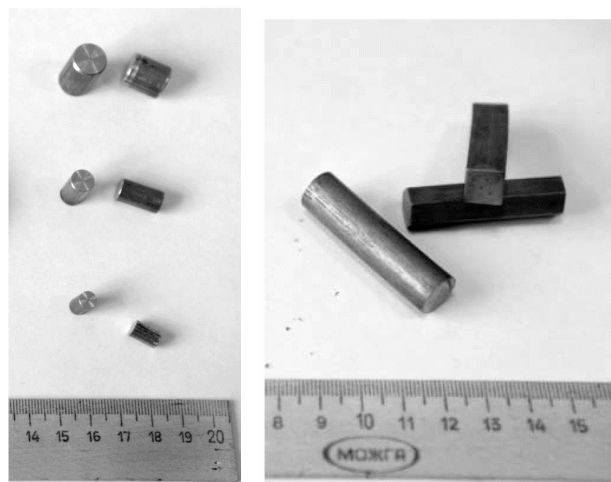


Рис. 2. Фрагменты прутков разных сечений, полученных горячей экструзией

Ход экспериментов показал, что независимо от того, из какого типа стружки и с каким коэффициентом вытяжки получены прутки, все они могут экструдироваться по описанному выше технологическому режиму достаточно устойчиво. Усилие экструдирования, максимальное значение которого в экспериментах не превышало 900 кН, контролировали по манометру пресса, регулируя одновременно скорость перемещения верхней плиты, задающей скорость деформирования. Для фиксирования и поддержания необходимых температур рабочего пространства печей при нагреве заготовок и инструмента использовали соответствующие термопары и КСП-4.

После экструзии от полученных прутков на расстоянии не ближе, чем 50 мм от переднего конца, отбирались образцы длиной порядка 15-20 мм, на которых изучались микроструктура в продольном и поперечном направлениях, а также показатели твердости материала. Для изучения микроструктуры использовали микроскоп NEOFOT-32. Твердость по Бринеллю определяли с помощью прибора М4У G3.

В ходе выполнения работы особое внимание уделялось решению некоторых частных вопросов, касающихся:

- оценки влияния конкретного типа исходной стружки на структурообразование и свойства пресс-изделий при определенных форме поперечного сечения и коэффициенте вытяжки;
- однородности распределения структуры и свойств по длине пресс-изделия;
- особенностей формирования структуры и свойств при переходе от экструзии круглых в плане прутков к пруткам шестигранной и квадратной форм поперечного сечения при приблизительно одних и тех же значениях коэффициента вытяжки;
- роли степени деформации (коэффициента вытяжки) в формировании структуры и свойств пресс-изделий.

При рассмотрении их старались по возможности соблюсти точность мест вырезки образцов, что давало возможность проведения корректного сопоставления структуры и свойств прутков на сравнительно одинаковом расстоянии от переднего слабodeформированного конца пресс-изделий.

Оценку влияния типа используемой для получения прутков стружки проводили на прутках диаметром 12 мм. Характерные структуры прутков с указанием типа стружки приведены на рис. 3.

Сопоставление их позволяет сделать вывод, что микроструктура прутков, полученных из стружки типов 1 и 2, в основном мелкозернистая, образование которой, по-видимому, происходит вследствие протекания процессов, соответствующих стадии первичной рекристаллизации. Микроструктура прутка, изготовленного из стружки типа 3, отличается более крупными размерами зерен, что можно объяснить переходом рекристаллизационных процессов на стадию собирательной рекристаллизации. Предпосылкой для этого может являться наличие в исходной крупной стружке значительного количества линейных дефектов, стимулирующих протекание рекристаллизационных процессов.

Вопрос о характере изменения структуры по длине пресс-изделия с точки зрения ее однородности изучали на прутке диаметром 12 мм, исходным сырьем для получения которого служила стружка типа 2. Отбор образцов производился, начиная с переднего слабodeформированного конца прутка, и далее еще в 3^х точках через каждые 100 мм по его длине. На рис. 4 приведена картина изменения структуры по указанным поперечным сечениям, из которой видно, что, за исключением передней части, структура прутка по длине практически не меняется, представляя собой мелкие рекристаллизованные зерна.

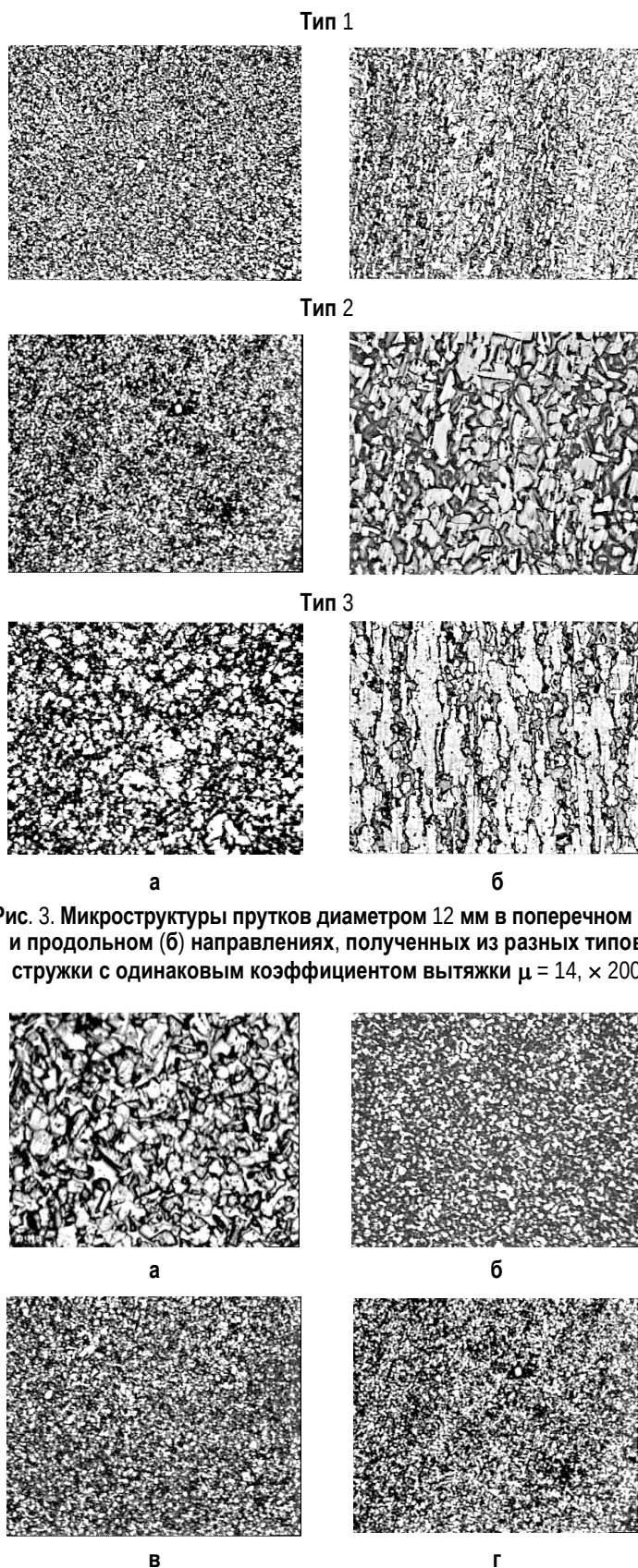
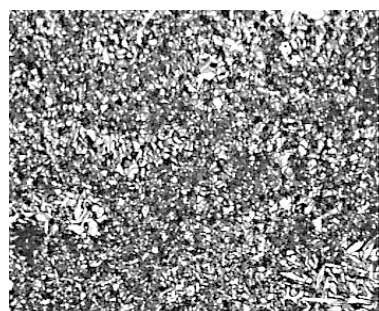


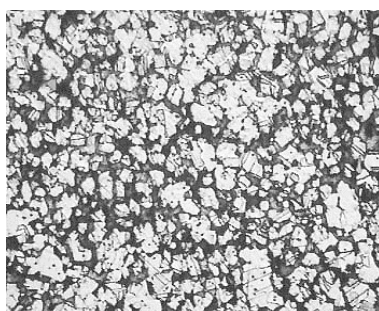
Рис. 3. Микроструктуры прутков диаметром 12 мм в поперечном (а) и продольном (б) направлениях, полученных из разных типов стружки с одинаковым коэффициентом вытяжки $\mu = 14$, $\times 200$

Рис. 4. Микроструктуры прутка диаметром 12 мм из стружки типа 2 в нескольких поперечных сечениях, начиная с переднего конца (а) и далее вдоль его длины (б-г), $\times 200$

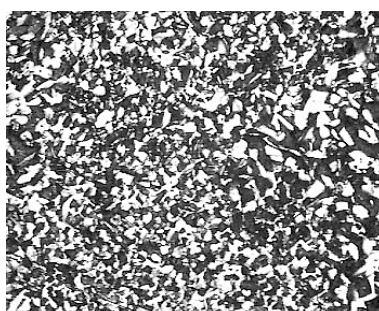
Рассмотрение третьего вопроса, для изучения которого бралась стружка типа 3, принципиальной разницы в формировании структуры пресс-изделий различных форм поперечного сечения не выявило, хотя некоторые отличия в структурах полученных прутков, безусловно, есть (рис. 5).



а



б

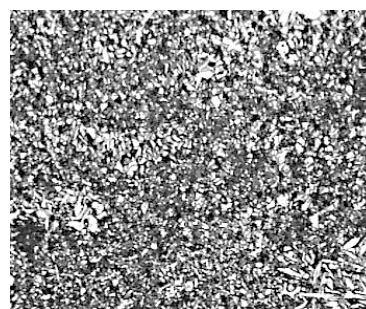


в

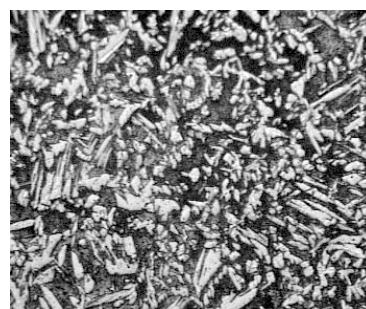
Рис. 5. Микроструктуры прутков круглого (а), шестигранного (б) и квадратного (в) сечений в поперечном направлении, полученных из стружки типа 3 с приблизительно одинаковым коэффициентом вытяжки μ , $\times 200$

Так, на микроструктурах прутков круглого и шестигранного поперечных сечений, несущественно отличающихся по форме друг от друга, видны ярко выраженные кристаллы α -фазы округлой конфигурации, а на микроструктуре прутка квадратного сечения зерна имеют пластинчато-игольчатую форму и их размер значительно больше. Это можно объяснить тем, что при экструзии прутка квадратного поперечного сечения характер течения более сложный, а схема деформации более «жесткая», чем при получении прутков круглого и шестигранного сечений, что обусловлено некоторым несоблюдением подобия форм поперечных сечений прессуемого прутка и исходного брикета.

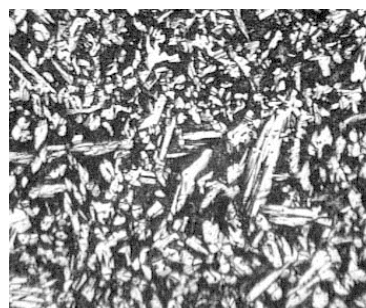
Последним и, на наш взгляд, наиболее значимым вопросом явилось изучение влияния коэффициента вытяжки при экструзии на структуру получаемых пресс-изделий. Для изготовления прутков диаметрами 12, 8 и 6 мм использовалась стружка типа 1. Характерные структуры для трех рассмотренных случаев приведены на рис. 6, из которого видно, что прутки, полученные с большими значениями коэффициента вытяжки ($\mu = 32$ и 56), имеют микроструктуру с зернами α -фазы пластинчато-игольчатой формы разных размеров, начиная от средних и до достаточно крупных. Это объясняется тем, что в условиях значительной пластической деформации процессы динамической рекристаллизации переходят в более глубокую стадию вторичной рекристаллизации.



а



б



в

Рис. 6. Микроструктуры прутков разного диаметра в поперечном сечении, полученных из стружки типа 1 с вытяжками соответственно 14 (а), 32 (б) и 56 (в)

Для установления качественного соотношения отмеченных особенностей формирования структуры горячепрессованных прутков изменению их прочностных характеристик на всех образцах после проведения металлографических исследований производился замер в трех точках твердости материала по

Бринеллю, средние значения которой сгруппированы на рис. 7 в соответствии с приведенной выше последовательностью описания микроструктур.

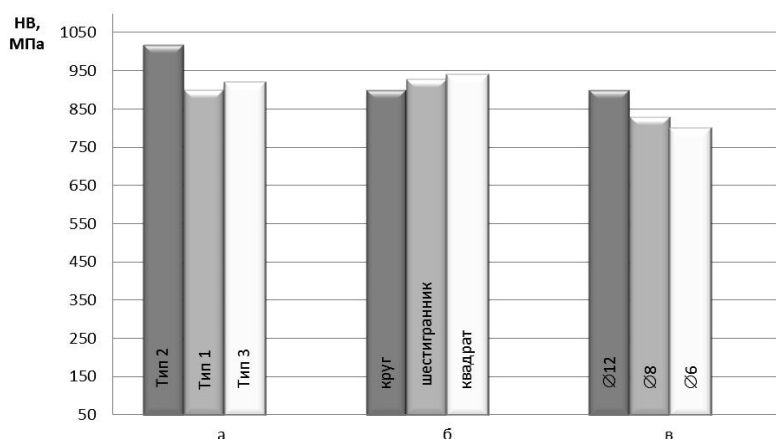


Рис. 7. Уровень твердости по Бринеллю горячепрессованных прутков из стружки ЛС59-1 разных видов: а – прутки диаметром 12 мм ($\mu = 14$) из разных типов стружки в соответствии с рис. 1; б – прутки разного поперечного сечения ($\mu \approx 16$) из крупной стружки (тип 3); в – прутки ряда диаметров, полученные с разными вытяжками из средней стружки (тип 1)

Из представленных данных следует, что, в целом, независимо от типа используемой стружки, формы поперечного сечения и диаметра полученных пресс-изделий, твердость НВ горячепрессованных прутков находится на уровне не ниже 800 МПа, что соответствует значениям указанной твердости для мягкого состояния материала прутков приблизительно тех же размеров из компактной латуни ЛС59-1, оговоренных в ГОСТ 31366-2008. При этом, чем меньше размер частиц используемой стружки (тип 2), тем выше прочностные характеристики прутка, достигающие при коэффициенте вытяжки $\mu = 14$ значений НВ порядка 1000 МПа.

Разница между уровнями твердости прутков, полученных из стружки типов 1 и 3 при небольших значениях коэффициента вытяжки ($\mu \approx 14$), причем независимо от формы их поперечного сечения, изменяется в пределах от 900 до 950 МПа. С увеличением коэффициента вытяжки твердость пресс-изделий начинает постепенно снижаться, составляя при $\mu = 56$ величину НВ = 800 МПа. Это связано, по-видимому, с тем, что, как отмечается в [2], увеличение вытяжки, способствующее одновременному повышению скорости ис-

течения, приводит к сокращению времени теплообмена заготовки с инструментом, увеличению работы деформации и повышению температуры пресс-изделий. Обусловленное этим некоторое снижение прочности, в принципе, вполне согласуется с качественными изменениями, происходящими в структуре прутков, описанными выше.

Повысить прочностные характеристики прутков из сыпучей стружки латуни ЛС59-1 можно, осуществляя их дополнительную холодную обработку, например, волочением [3]. Эксперименты, проведенные с использованием прутка диаметром 12 мм из стружки типа 1, показали, что сообщение материалу степени деформации 10-15% приводит к повышению твердости в 1,1-1,2 раза, а степень деформации 20-25% способствует росту твердости уже в 1,3-1,4 раза, приближая ее к значениям НВ = 1200 МПа, что соответствует по ГОСТ 31366-2008 уровню механических свойств прутков уже в полутвердом состоянии.

Таким образом, результаты лабораторных исследований показали, что, используя предлагаемый в работе подход, можно при соблюдении ряда условий добиться получения из сортовой сыпучей стружки латуни ЛС59-1 качественного продукта в виде горячепрессованных прутков различных типа-размеров, свойства которых будут отвечать требованиям соответствующего ГОСТ. При этом формируемая структура во многом будет зависеть от типа и источников образования используемой стружки, а также реализуемого температурно-деформационного режима осуществления основной технологической операции – экструзии.

Список литературы

1. Райков Ю.Н., Ашихмин Г.В., Полухин В.П., Гуляев А.С. Медные сплавы. Марки, свойства, применение: справочник / под общ. ред. Ю.Н. Райкова. М.: ОАО «Институт Цветметобработка». 2011. 456 с.
2. Шевакин Ю.Ф., Грабарник Л.М., Нагайцев А.А. Прессование тяжелых цветных металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1987. 246 с.
3. Загиров Н.Н., Константинов И.Л., Иванов Е.В., Арефьев А.А. Разработка технологии получения проволоки из сортовой сыпучей стружки латуни ЛС59-1 // Цветные металлы. 2012. №10. С. 96-99.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

PECULIARITIES OF STRUCTURE AND PROPERTIES FORMATION OF HOT PRESSED RODS FROM LEADED BRASS FRIABLE CHIPS

Zagirov N.N., Ivanov E.V., Kovaleva A.A., Anikina V.I.

Abstract. The article describes the scheme of making hot pressed rods from the waste of leaded brass friable chips that does not include melting stage. It studies how the type of chips, the cross section of mouldings, and the elongation ratio influence the structure and properties of hot extruded rods.

Keywords: graded friable chips, leaded brass, process scheme, rod, briquetting, hot extrusion, structure, hardness.

References

1. Raikov U.N., Ashihmin G.V., Poluhin V.P., Gulyaev A.S. *Mednye splavy*.

- Marki, svojstva, primeneniye: spravochnik / pod obshh. red. Yu.N. Rajkova. [Copper alloys. Brand, properties, application: A guide. Ed. U.N. Raikov]. M.: «Institute Tsvetmetobrabotka», 2011, 456 p.*
2. Shevakin U.F., Grabarnik L.M., Nagaitsev A.A. *Pressovanie tzhelykh cvetnykh metallov i splavov*. [Pressing of heavy non-ferrous metals and alloys]. M.: Metallurgy, 1987, 246 p.
 3. Zagirov N.N., Konstantinov I.L., Ivanov E.V., Arefyev A.A. *Razrabotka tehnologii polucheniya provoloki iz sortnoj sypuchej struzhki latuni LS59-1*. [Technology of making wire from graded friable brass chips LС59-1]. *Tsvetnye metall*. [Non-ferrous metals], 2012, no.10, pp. 96-99.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 621.746.5.047

Мошкунев В.В., Столяров А.М., Казаков А.С., Буланов Л.В., Юровский Н.А., Черемисин Д.Д.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МЯГКОГО ОБЖАТИЯ СЛЯБОВ ПРИ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКЕ ТРУБНОЙ СТАЛИ

Аннотация. При математическом моделировании процесса мягкого обжатия слябовой непрерывно-литой заготовки определены расчетные значения относительного содержания жидкости в двухфазной зоне слябов из трубной стали для первого и второго порогов проницаемости этой зоны. Установлено, что в осевой части обжатой заготовки удельный объем пор втрое меньше, чем в заготовке без обжатия.

Ключевые слова: непрерывнолитой сляб, мягкое обжатие, математическое моделирование, удельный объем пор.

В кислородно-конвертерном цехе ОАО «ММК» на одноручевой МНЛЗ криволинейного типа с вертикальным участком осуществляется мягкое обжатие слябовых непрерывнолитых заготовок толщиной 250 и 300 мм [1, 2]. Математическое моделирование данного процесса мягкого обжатия проведено в расчетно-аналитической лаборатории МНЛЗ отдела научно-исследовательских работ ОАО «Уралмашзавод» (г. Екатеринбург). Для моделирования на компьютерах «Intel Core i7» использовался программный комплекс из двух программ [3, 4]:

– программы «Cristall-2D», созданной при помощи компилятора «Compaq Visual Fortran Processional Edition 6.1.0», для анализа расчетного положения зоны мягкого обжатия в статическом и динамическом режимах;

– программы «Рога», в которой используются полученные в предыдущей программе файлы для анализа порообразования, связанного с потерей гидродинамического давления расплава в двухфазной зоне при кристаллизационной усадке.

На первом этапе исследования проведена настройка модели по производственным данным. Для этого были использованы основные технологические параметры, данные динамической системы управления вторичным охлаждением МНЛЗ и информация о химическом составе металла шести опытных плавок. Для проверки качества настройки математической модели были использованы производственные данные других 10 плавок текущего производства. На математической модели «Cristall-2D» были произведены расчеты и получены результаты о местонахождении частей слябовой заготовки с разным содержанием жидкой фазы в двухфазной области зумпфа, которые в дальнейшем для краткости будут называться смоделированными данными. Полученные данные были сравнены с производственными данными, выдаваемыми динамической системой управления вторичным охлаждением МНЛЗ. Между смоделированными значениями расстояния от зеркала металла в кристалли-

заторе ($L_{\text{мод}}$) и производственными значениями этого параметра ($L_{\text{пр}}$) были выявлены линейные зависимости, полученные для разных значений доли жидкого металла внутри заготовки:

Доля расплава в слябе	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции
0,8	$L_{\text{мод}} = 1,001 L_{\text{пр}} + 0,211$	$r = 0,992$ (1)
0,6	$L_{\text{мод}} = 0,934 L_{\text{пр}} + 1,803$	$r = 0,982$ (2)
0,4	$L_{\text{мод}} = 0,979 L_{\text{пр}} + 0,325$	$r = 0,993$ (3)
0,2	$L_{\text{мод}} = 0,938 L_{\text{пр}} + 1,518$	$r = 0,978$ (4)
0	$L_{\text{мод}} = 1,001 L_{\text{пр}} + 0,678$	$r = 0,972$ (5)

Критическое значение коэффициента парной корреляции для 10 пар сравниваемых данных и при уровне значимости 0,001 равно 0,872. Значения коэффициентов корреляции всех найденных зависимостей (1)-(5) значительно превышают критическое значение коэффициента. Это свидетельствует о существовании тесной прямолинейной зависимости между сравниваемыми параметрами с вероятностью 99,9%.

В табл. 1 приведена информация об абсолютной величине отклонений между смоделированными и производственными данными о расстоянии от поверхности жидкого металла в кристаллизаторе до участков слябов из трубной стали с различной долей жидкого металла в двухфазной зоне.

Из представленных в табл. 1 данных видно, что отклонение между смоделированными и производственными данными изменяется в интервале от 0,1 до 4,9% (отн.), средняя величина отклонения составляет 1,37%.

Все это свидетельствует о достаточно хорошей настройке модели и ее адекватности реальному процессу мягкого обжатия.

На втором этапе исследования с использованием настроенной модели проведено моделирование процесса мягкого обжатия для условий разлива трубной стали на МНЛЗ криволинейного типа с вертикальным участком в ККЦ ОАО «ММК».

Таблица 1

Абсолютная величина отклонений (%) между смоделированными и производственными данными о расстоянии от поверхности жидкого металла в кристаллизаторе до участков слябов из трубной стали с различной долей жидкого металла в двухфазной зоне

Доля жидкого металла в двухфазной зоне сляба	Условный номер плавки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,8	1,6	0,8	0,4	0,1	1,2	1,8	0,5	2,5	1,6	0,5
0,6	0,2	0,7	0,6	3,7	1,4	0,9	1,1	1,0	0,8	0,4
0,4	1,1	1,4	0,7	1,1	0,2	0,6	1,3	0,4	1,3	1,9
0,2	0,7	1,7	1,1	1,1	0,6	0,4	0,6	2,1	0,9	1,9
0	2,7	1,5	2,5	2,1	4,9	2,7	3,5	3,9	1,2	0,7

Исходными данными для проведения расчета являлась информация о химическом составе разливаемого металла, температуре металла в промежуточном ковше, размерах поперечного сечения слябовой заготовки, скорости вытягивания сляба из кристаллизатора, расходах охладителя в зоне вторичного охлаждения, номерах сегментов, в которых производится мягкое обжатие, величине и интенсивности обжатия.

Результатами расчета на модели были данные о температурном поле внутри заготовки, структуре отливаемой заготовки с информацией о содержании расплава в двухфазной зоне на различном удалении от поверхности металла в кристаллизаторе, распределении давления внутри сляба, удельном объеме образующихся пор.

В качестве характерного примера на рис. 1 приведены расчетные данные об изменении гидродинамического давления и содержании жидкости в двухфазной зоне отливаемых заготовок двух плавков, данные о которых приведены в табл. 2.

Сляб толщиной 250 мм плавки А обжимался в 11-м и 12-м сегментах зоны вторичного охлаждения МНЛЗ на величину 4,5 мм. Мягкое обжатие на величину 5 мм сляба толщиной 300 мм плавки В производилось в 12-м и 13-м сегментах.

Анализ верхней части рис. 1 показывает, что при разливке стали 13Г1С-У в сляб толщиной 250 мм со скоростью 1,0 м/мин гидродинамическое давление расплава внутри заготовки без мягкого обжатия (пунктирная линия давления без обжатия) снижается до нуля на расстоянии 22,8 м от зеркала металла в кристаллизаторе. В этот момент времени в

зупффе сляба содержится около 0,7 жидкого металла в двухфазной зоне. Данная величина и характеризует первый порог проницаемости двухфазной зоны заготовки из стали марки 13Г1С-У. В результате осуществления обжатия на участке от 22,1 до 26,7 м в 11-м и 12-м сегментах ЗВО удается резко увеличить давление расплава внутри заготовки (сплошная линия – давление с обжатием). Давление достигает максимального значения, равного 1,8 МПа, на расстоянии 25 м от поверхности металла в кристаллизаторе, затем оно резко падает и становится равным нулю при наличии 0,2 жидкости в двухфазной зоне, что является характеристикой второго порога проницаемости этой зоны.

Аналогичный анализ нижней части рисунка для моделирования разливки стали К60 со скоростью 0,8 м/мин в сляб толщиной 300 мм позволяет установить, что первый и второй пороги проницаемости двухфазной зоны в этом случае характеризуются относительным содержанием жидкой фазы 0,6 и 0,2 соответственно.

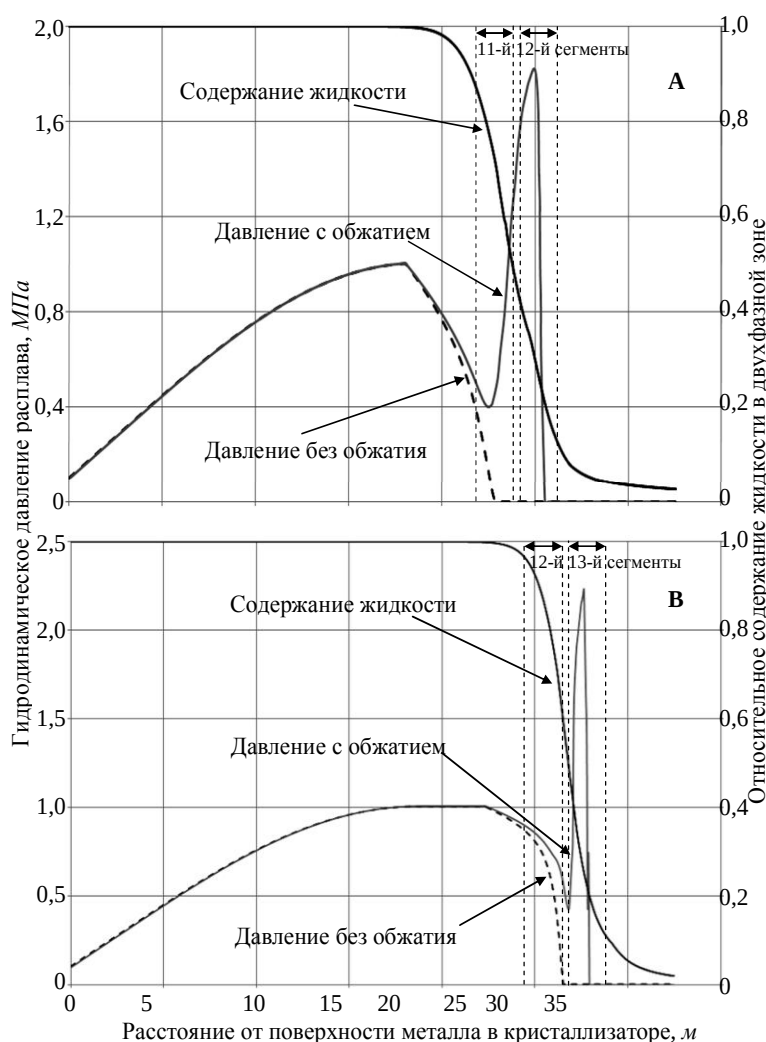


Рис. 1. Изменение гидродинамического давления расплава и относительного содержания жидкости в двухфазной зоне слябов при разливке металла плавки А и В

Очень важным результатом моделирования процесса мягкого обжатия с использованием программы «Рога» является получение представлений о давлении жидкого расплава в зумпфе между положениями порогов проницаемости. Это позволяет до осуществления реального обжатия моделировать различные варианты позиционирования роликовых сегментов и выбирать оптимальные. Программа «Рога» является составной частью системы динамического мягкого обжатия в АСУ ТП на МНЛЗ №2 в ККЦ ОАО «Северсталь» и при осуществлении разливки в режиме реального времени дает возможность корректировать величину интенсивности обжатия, если создаваемое позиционированием сегментами мягкого обжатия давление расплава не обеспечит оптимальную запитку границ кристаллизации при наличии положительного давления между порогами проницаемости. Если сегмент не позиционируется для мягкого обжатия на участке между порогами проницаемости, то рассчитанное по программе «Рога» давление расплава равно нулю.

Таблица 2

Данные плавов для расчета на модели

Параметр	Условное обозначение плавки	
	А	В
Марка стали	13Г1С-У	09Г2С
Содержание элемента, %:		
углерод	0,14	0,09
кремний	0,51	0,72
марганец	1,50	1,56
сера	0,001	0,004
фосфор	0,009	0,010
хром	0,03	0,04
никель	0,03	0,03
медь	0,04	0,07
алюминий	0,03	0,04
титан	0,02	0,02
азот	0,004	0,005
Размеры поперечного сечения сляба, мм:		
толщина	250	300
ширина	2600	1830
Скорость вытягивания сляба из кристаллизатора, м/мин	1,0	0,8
Температура металла в промежуточном ковше, °С	1531	1532
Температура ликвидус стали, °С	1511	1514

На рис. 2 приведено полученное при моделировании распределение удельного объема пор в непрерывнолитой заготовке толщиной 250 мм, отлитой с мягким обжатием и без него.

Удельный объем пор является безразмерной величиной и рассчитывается по уравнению

$$Y = (\Delta\rho / \rho_l) S_k, \quad (6)$$

где Y – удельный объем пор; $\Delta\rho = (\rho_s - \rho_l)$ – изменение плотности металла при кристаллизации; ρ_s, ρ_l – плотность твердой фазы и расплава; $S_k = S(P \leq P_k)$ – сечение жидкой фазы в момент разрыва расплава; P – гидродинамическое давление; P_k – прочность жидкой фазы.

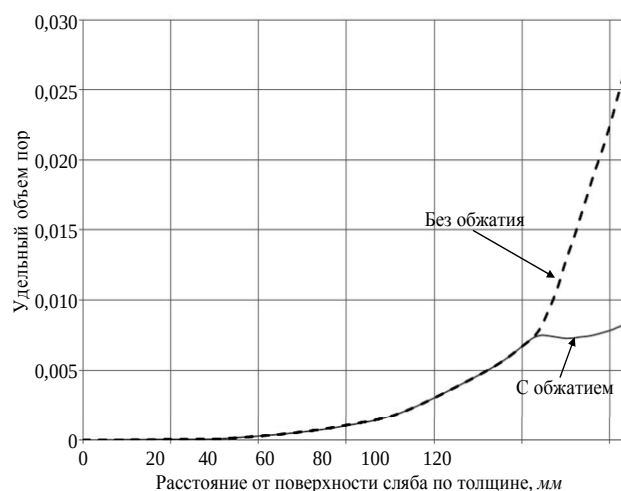


Рис. 2. Распределение удельного объема пор в непрерывнолитой заготовке толщиной 250 мм, отлитой с мягким обжатием и без обжатия

Из рисунка видно, что в непрерывнолитой заготовке, отлитой по обычной технологии без мягкого обжатия, удельный объем пор возрастает в направлении от краевой поверхности сляба к его центру и достигает максимального значения на оси (пунктирная линия). В результате осуществления мягкого обжатия, начинающегося после затвердевания слоя металла толщиной 110 мм, рост удельного объема пор (сплошная линия) сначала прекращается, затем объем пор снижается, а потом происходит его небольшое увеличение. В осевой части обжатой заготовки удельный объем пор, как минимум, вдвое меньше, чем в необжатой заготовке.

Таким образом, при математическом моделировании процесса мягкого обжатия слябовой непрерывнолитой заготовки определены расчетные значения относительного содержания жидкости в двухфазной зоне слябов из трубной стали для первого порога проницаемости этой зоны – 0,6 и 0,7 в зависимости от химического состава металла и для второго порога проницаемости, равное 0,2. Получена информация о распределении удельного объема пор по поперечному сечению слябов, отлитых с мягким обжатием и без него. Установлено, что в осевой части обжатой заготовки удельный объем пор, как минимум, вдвое меньше, чем в заготовке без обжатия.

Выводы:

- Математические модели «Cristall-2D» и «Pora», разработанные в ОАО «Уралмашзавод» для моделирования процесса мягкого обжатия, были опро-

бованы и показали адекватные результаты по определению границ зоны мягкого обжатия, соответствующие положениям первого и второго порогов проницаемости, на представительном количестве плавок трубной стали, разлитой на криволинейной МНЛЗ с вертикальным участком в ККЦ ОАО «ММК».

- Математическая модель «Рога» дает неоспоримые возможности количественного анализа запитки границ кристаллизации по величине давления расплава и расчета концентрации осевой пористости непрерывнолитых слабов.

Список литературы

1. Мошкун В.В., Столяров А.М., Казаков А.С. Определение длины лунки жидкого металла в непрерывнолитых слябах из трубной стали с использованием эффекта «искусственного раздутия» заготовки // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. №1 (37). С. 24-26.
2. Мошкун В.В., Столяров А.М., Казаков А.С. Снижение осевой химической неоднородности трубной стали в результате мягкого обжатия непрерывнолитого сляба // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. №2 (38). С. 24-25.
3. Буланов Л.В., Юровский Н.А., Химич Т.Г., Масаев М.В. Математическая модель и расчет параметров мягкого обжатия непрерывнолитых заготовок // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2003. №8. С. 124-130.
4. Юровский Н.А., Буланов Л.В. Расчетный анализ влияния параметров непрерывной разливки на порообразование слитка // Сталь. 2005. №9. С. 14-17.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

MATHEMATICAL SIMULATION PROCESS SOFT REDACTION SLABS OF CONTINUOUS CASTING TUBE STEEL

Moshkunov V.V., Stolyarov A.M., Kazakov A.S., Bulanov L.V., Yurovskiy N.A., Cheremisin D.D.

Abstract. Mathematical simulation process soft redaction slabs was determined design value content of liquid in the two-phase zone slabs of tube steel for first and second threshold conductivity. It has been found experimentally that central part reduced slab specific pore space a third less of than in slab without soft redaction.

Keywords: cast slab, soft redaction, mathematical simulation, specific pore space

References

1. Moshkunov V.V., Stolyarov A.M., Kazakov A.S. Opredelenie dliny lunki zhidkogo metalla v nepreryvnolityh sljabah iz trubnoj stali s ispol'zovaniem jeffekta «iskusstvennogo razdutiya» zagotovki. [Determination of the length to point of solidification in strands of Peritectic Low Alloyed steels for pipes with using «Mini whale» effect]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik Magnitogorsk State technical university named after G.I. Nosov]. 2012, no.1 (37), pp. 24-26.
2. Moshkunov V.V., Stolyarov A.M., Kazakov A.S. Snizhenie osevoj himicheskoy neodnorodnosti trubnoj stali v rezul'tate m'yagkogo obzhatija nepreryvnolitogo sljaba. [Longitudinal chemical inhomogeneity of continuously cast slab from tube steel improvements as a result of soft reduction]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov]. 2012, no.2 (38), pp. 24-25.
3. Bulanov L.V., Yurovskiy N.A., Khimich T.G., Masaev M.V. Matematicheskaya model' i raschet parametrov m'yagkogo obzhatija nepreryvnolityh zagotovok. [Mathematical simulation and calculation parameter soft redaction continuously cast slab]. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. [Metallurgical and Mining Industry], 2003, no.8, pp. 124-130.
4. Yurovskiy N.A., Bulanov L.V. Raschetnyj analiz vliyanija parametrov nepreryvnoy razlivki na poroobrazovanie slitka. [Calculated analysis influence factors continuously cast on the pore formation slab]. *Stal'*. [Steel]. 2005, no.9, pp. 14-17.

ЭНЕРГЕТИКА МЕТАЛЛУРГИИ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

УДК 621.771.531.3

Кузбаков Ж.И.

СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ЩЕКОВОЙ ДРОБИЛКИ ПРИ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. На основе исследований дифференциальных уравнений, описывающих движение системы привода дробильной машины, предлагается повысить виброустойчивость привода путем использования резинометаллического демпфера.

Ключевые слова: виброустойчивость, демпфер, динамические нагрузки, привод, переходный период, зазор, кинематические пары.

Вопросы динамики машин, отражающие основные особенности конструктивных схем электроприводов в типовых и тяжелых режимах нагружения, имеют важное значение не только при проектировании новых машин, но и при модернизации действующего оборудования, так как представляется возможным составить правдоподобное суждение о характере работы отдельных звеньев машины в процессе эксплуатации, выявить в ходе исследования наиболее слабые звенья и предпринять меры к их сохранности при повышенных и даже аварийных нагрузках [1].

Как известно, энергия в работающих машинах в переходные периоды, в основном, рассеивается двигателем и механизмом естественным путем. Однако возбуждающиеся колебательные процессы могут обуславливать опасные динамические нагрузки, которые ухудшают надежность и долговечность их приводов. Величина динамических нагрузок при возбуждении колебательных процессов в значительной степени зависит от характера внешних возмущений и конструктивных параметров системы привода. Следовательно, динамические нагрузки можно снижать как за счет изменения по определенному закону внешних управляющих воздействий, так и путем рационального выбора упругоинерционных параметров привода.

Вместе с тем, в работающих машинах большое практическое значение имеет повышение виброустойчивости привода путем усовершенствования применяемых демпфирующих устройств. В период неустановившегося движения происходит разделение масс звеньев на отдельные группы с последующим их замыканием с определенной относительной скоростью, что влечет за собой появление больших динамических нагрузок.

Во избежание этого в кривошипном механизме щековых дробилок [2] применяется специальное натяжное устройство (механизм силового замыкания), исключающее раскрытие зазоров в кинематических парах. Пружина механизма силового замыкания является демпфером. Однако при тяжелых режимах работы, например при дроблении высокопрочных матери-

алов, возникают большие динамические нагрузки, которые сильно влияют на кинематические пары распорных плит и сухарей [3].

На рис. 1 показан динамический демпфер с пружиной (выделенный). Как видно из рисунка, демпфер соединен с упругой связью последовательно, что означает участие демпфера в передаче рабочих нагрузок.

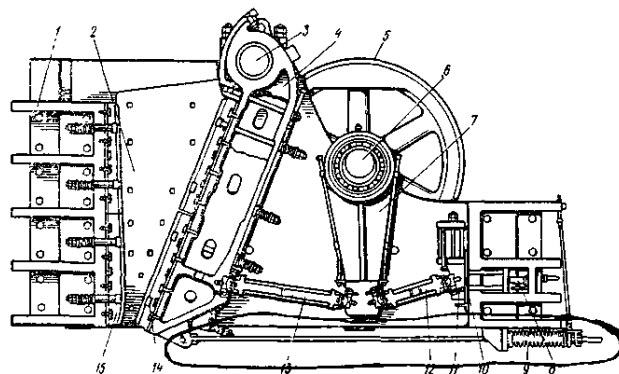


Рис. 1. Щековая дробилка с простым движением подвижной щеки

Динамическая модель привода, учитывающая условия работы упруго-диссипативного звена, приведена на рис. 2. Параметр h_{12} приблизительно характеризует диссипативные свойства демпфирующего устройства.

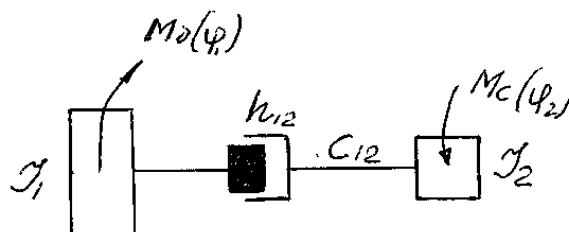


Рис. 2. Динамическая модель демпфирующего устройства, соединенного с упругой связью последовательно

Исследуем влияние демпфера на степень устойчивости, определяющую способность системы привода рассеивать энергию, вносимую внешними возмущениями. Будем предполагать, что момент электродвигателя и момент нагрузки машины являются линейными функциями скоростей. Дифференциальные уравнения, описывающие движение системы (рис. 2), имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} J_1 \dot{\varphi}_1 + h_{12} (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}^*) &= M_0 - \beta \dot{\varphi}_1; \\ C_{12} (\varphi^* - \varphi_2) &= h_{12} (\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}^*); \\ J_2 \dot{\varphi}_2 - C_{12} (\varphi^* - \varphi_2) &= -M_c^0 - \beta_m \dot{\varphi}_2, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где φ^* – угловое смещение пружины.

Определим из второго уравнения (1)

$$\dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi}^* + \frac{C_{12}}{h_{12}} (\dot{\varphi}^* - \dot{\varphi}_2). \quad (2)$$

После замены в первом уравнении системы (1) переменной $\dot{\varphi}_1$ выражением (2) получим систему двух уравнений относительно переменных φ^*, φ_2 :

$$\begin{aligned} J_1 \dot{\varphi}^* + \left(J_1 \frac{C_{12}}{h_{12}} + \beta \right) \dot{\varphi}^* + \left(C_{12} + \frac{\beta C_{12}}{h_{12}} \right) \dot{\varphi}^* - \\ - \frac{J_1 C_{12}}{h_{12}} \dot{\varphi}_2 - C_{12} \left(1 + \frac{\beta}{h_{12}} \right) \dot{\varphi}_2 = M_0. \end{aligned} \quad (3)$$

$$J_2 \dot{\varphi}_2 + \beta_m \dot{\varphi}_2 + C_{12} (\varphi_2 - \varphi^*) = -M_c^0.$$

Преобразуем уравнения (3) следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} J_1 \dot{\varphi}^* + J_2 \dot{\varphi}_2 + \left(J_1 \frac{C_{12}}{h_{12}} + \beta \right) \dot{\varphi}^* + \frac{\beta C_{12}}{h_{12}} (\dot{\varphi}^* - \dot{\varphi}_2) - \\ - \frac{J_1 C_{12}}{h_{12}} \dot{\varphi}_2 + \beta_m \dot{\varphi}_2 = \Delta M; \\ \varphi^* - \varphi_2 + \frac{C_{12}}{h_{12}} (\varphi^* - \varphi_2) + \frac{\beta}{J_1} \dot{\varphi}^* - \frac{\beta_m}{J_2} \dot{\varphi}_2 + \\ + \left(\Omega_{12}^2 + \frac{\beta C_{12}}{J_1 h_{12}} \right) (\varphi^* - \varphi_2) = \frac{M_0}{J_1} + \frac{M_c^0}{J_2}, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где $\Delta M = M_0 - M_c^0$, $\Omega_{12}^2 = C_{12} J_0 / J_1 J_2$.

Положим

$$\varphi^* = \xi + \frac{J_2}{J_0} \theta_{12}, \quad \varphi_2 = \xi - \frac{J_1}{J_0} \theta_{12}, \quad \xi = u, \quad (5)$$

после чего уравнению (4) можно придать вид

$$\begin{aligned} u + \frac{\beta}{J_0} \left(u + \frac{J_2}{J_0} \theta_{12} \right) + \frac{J_1 C_{12}}{J_0 h_{12}} \theta_{12} + \frac{\beta C_{12}}{J_0 h_{12}} \theta_{12} + \\ + \frac{\beta_m}{J_0} \left(u - \frac{J_1}{J_0} \theta_{12} \right) = \frac{\Delta M}{J_0}; \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \theta_{12} + \frac{C_{12}}{h_{12}} \theta_{12} + \frac{\beta}{J_1} \left(u + \frac{J_2}{J_0} \theta_{12} \right) - \frac{\beta_m}{J_2} \left(u - \frac{J_1}{J_0} \theta_{12} \right) + \\ + \left(\Omega_{12}^2 + \frac{\beta C_{12}}{J_1 h_{12}} \right) \theta_{12} = \frac{M_0}{J_1} + \frac{M_c^0}{J_2}. \end{aligned}$$

Составим характеристический полином вида

$$\lambda^3 + a_1 \lambda^2 + a_2 \lambda + a_3 = 0, \quad (7)$$

соответствующий дифференциальным уравнениям (1), (6).

Для дифференциального уравнения (6) коэффициенты полинома определяют следующими выражениями:

$$\begin{aligned} a_1 = \frac{h_{12} J_0}{J_1 J_2} + \frac{\beta}{J_1} + \frac{\beta_m}{J_2}; \quad a_2 = \Omega_{12}^2 + \frac{(\beta + \beta_m) h_{12}}{J_1 J_2} + \frac{\beta \beta_m}{J_1 J_2}; \\ a_3 = \frac{(\beta + \beta_m)}{J_1 J_2} C_{12}. \end{aligned} \quad (8)$$

Как известно [2], для устойчивости линейной системы третьего порядка при положительных коэффициентах необходимо и достаточно выполнение неравенства

$$a_1 a_2 - a_3 > 0. \quad (9)$$

Подставляя в неравенство (9) соответственно коэффициенты a_1, a_2, a_3 , найденные по формуле (8), приходим к такому неравенству:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\beta}{J_1} + \frac{\beta_m}{J_2} \right) \frac{\beta \beta_m}{J_1 J_2} + \Omega_{12}^2 \frac{\beta J_2}{J_1 J_0} + \Omega_{12}^2 \frac{\beta_m J_1}{J_2 J_0} + \\ + \frac{C_{12}}{h_{12}} \left(\frac{\beta_m}{J_2} + \frac{\beta}{J_1} \right)^2 + \frac{C_{12}}{h_{12}} \left[\Omega_{12}^2 + \frac{C_{12}}{h_{12}} \left(\frac{\beta}{J_1} + \frac{\beta_m}{J_2} \right) \right] > 0. \end{aligned} \quad (10)$$

Первые три слагаемые в формуле (10) соответствуют случаю, когда демпфирующее устройство в приводе отсутствует. Поэтому из неравенства (10) следует, что при введении демпфирующих устройств виброустойчивость привода всегда будет повышаться. Следовательно, для повышения степени устойчивости привода, при модернизации дробилки с целью применения ее для дробления материала особой прочности необходимо принять дополнительные меры, повышающие вибропоглощающие свойства демпфера. На практике этого можно добиться путем установки резиновых прокладок с обеих сторон пружины, т.е. применять резино-металлический демпфер (рис. 3).

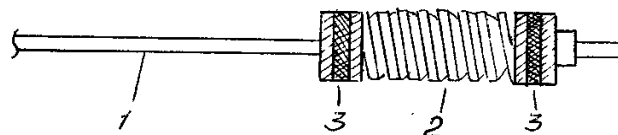


Рис. 3. Повышение виброустойчивости привода путем применения резино-металлического демпфера: 1 – тяга; 2 – пружина; 3 – резиновые прокладки

Список литературы

1. Иванченко Ф.К., Красношапка В.А. Динамика металлургических машин. М.: Металлургия, 1983. 295 с.
2. Клушанцев Б.В., Косарев А.И., Муйземнек Ю.А. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации. М.: Машиностроение, 1990. 320 с.
3. Кузбаков Ж.И. Проблемы дробления феррохрома и развития конструкций дробильных машин // Материалы республиканской научной конференции «Проблемы комплексного освоения природных ресурсов Западного Казахстана и Южного Урала», 24-25 окт. 2003, Актобе. 2003. С. 44-52.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

REDUCTION OF DYNAMIC LOADS FROM THE DRIVE THE JAW CRUSHER FOR CRUSHING HIGH-STRENGTH MATERIALS

Kuzbakov Zh.I.

Abstract. Mathematical simulation process soft redaction slabs was determined design value content of liquid in the two-phase zone slabs of tube steel for first and second threshold conductivity. It has been found experimentally that central part reduced slab specific pore space a third less of than in slab without soft redaction.

Keywords: cast slab, soft redaction, mathematical simulation, specific pore space

References

1. Ivanchenko F.C., Krasnoschapka V.A. *Dinamika metallurgicheskikh mashin.* [Dynamics of metallurgical machines]. Moscow, Metallurgy, 1983. 295 p.
2. Klushantsev B.V., Kosarev A.I., Muyszemnek J.A. *Crushers. Drobilki. Konstrukcija, raschet, osobennosti jekspluatatii.* [Design, calculation, operating features]. M: Mechanical Engineering, 1990. 320 p.
3. Kuzbakov J.I. *Problemy droblenija ferrohroma i razvitija konstrukcij drobil'nyh mashin.* [The problems of fragmentation of ferrochrome and development structures crushers]. *Materialy respublikanskoj nauchnoj konferencii «Problemy kompleksnogo osvoenija prirodnih resursov Zapadnogo Kazahstana i Juzhnogo Urala»* [Proceedings of the republican scientific conference «Problems of the exploration of natural resources in Western Kazakhstan and South Urals»]. Aktobe, 2003. pp. 44-52.

УДК 621.316.11+621.311.1.003

Заславец Б.И., Малафеев А.В., Ягольников Е.Б.

СНИЖЕНИЕ ТАРИФОВ НА ПЕРЕДАЧУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЗА СЧЕТ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Аннотация. В статье представлены результаты расчетов удельных затрат на компенсацию реактивной мощности, коэффициент реактивной мощности до и после компенсации, ожидаемый экономический эффект в условиях промышленного предприятия. Приведены общие рекомендации по компенсации реактивной мощности за счет использования определенных типов синхронных двигателей.

Ключевые слова: потери электроэнергии, активная мощность, реактивная мощность, компенсация реактивной мощности, коэффициент реактивной мощности, синхронные двигатели, тарифы на передачу электроэнергии.

Одной из важных проблем систем электроснабжения является проблема компенсации реактивной мощности. При передаче по элементам системы электроснабжения реактивной мощности в них возникают потери активной мощности, за которые расплачивается потребитель электрической энергии. Для регулирования тарифа на услуги по передаче электрической энергии, в состав конечного тарифа (цены) на электрическую энергию, с помощью повышающих (понижающих) коэффициентов необходимо использование устройств.

Приказом Минпромэнерго РФ от 22.02.2007 г. №49 [1] предусматривается определение значений $\tan \phi$ в виде предельных значений коэффициента реактивной мощности, потребляемой в часы больших суточных нагрузок электрической сети, соблюдение которых обеспечивается покупателями электрической энергии (мощности), присоединенная мощность энергопринимающих устройств которых более 150 кВт, в т.ч. и ОАО «ММК» от ООО «МЭК», посредством соблюдения режимов потребления электрической энергии (мощности) либо использования устройств компенсации реактивной мощности.

В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 31.08.2006 г. №530 [2] от 27.12.2004 г. и №861 [3] от 31.08.2006 г. разработаны методические указа-

ния по расчету повышающих (понижающих) коэффициентов к тарифам на услуги по передаче электрической энергии в зависимости от соотношения потребления активной и реактивной мощности для потребителей электрической энергии.

Предельные значения коэффициента реактивной мощности в часы наибольших суточных нагрузок электрической сети для потребителей, присоединенных к сетям напряжением 110 (220) кВ – 0,5; напряжением 35 кВ – 0,4; напряжением 6 – 20 кВ – 0,4. Электроэнергию для потребителей ООО «Магнитогорская энергетическая компания» (ООО «МЭК») передает филиал «Челябэнерго» МРСК Урала, который является электросетевой организацией. ООО «МЭК», в свою очередь, является субъектом оптового рынка и гарантирующим поставщиком, осуществляющим покупку электроэнергии для всего Магнитогорского энергетического узла (МЭУ). В связи со всем вышесказанным ООО «МЭК» обязана контролировать уровень $\tan \phi$ во всех точках присоединения нагрузки.

Основным потребителем в МЭУ, кроме населения и промышленных предприятий г. Магнитогорска, является ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК»). Нагрузка ОАО «ММК» составляет порядка 900 МВт, из которых 650 МВт

Таблица 1

Диапазоны изменения $\tan \varphi$ в узлах нагрузки

Наименование узла	ПС 30	ПС 60	ПС 77	ПС 86	ПС 90
16.12.09	0,85 – 1,15	0,67 – 0,92	0,80 – 1,30	0,35 – 0,40	0,25 – 0,35
16.06.10	0,95 – 1,32	0,8 – 1,15	0,64 – 0,95	0,31 – 0,35	0,30 – 0,40

обеспечиваются собственными электростанциями (ТЭЦ – 330 МВт, ЦЭС – 205 МВт, ПВЭС – 100 МВт, ПСЦ – 15 МВт), а остальное покупается у ООО «МЭК». Как и на всех предприятиях черной металлургии, нагрузка ОАО «ММК» имеет резкопеременный характер и оказывает существенное влияние на режимы работы энергосистемы Челябинской области, которая не является тупиковым потребителем, а представляет собой сложный электрический узел с несколькими электростанциями и большим количеством линий связи 110, 220 кВ с энергосистемой. Внешнее электроснабжение МЭУ осуществляется от трех источников – Ириклинская ГРЭС, ПС «Бекетово» и Троицкая ГРЭС – по линиям электропередачи напряжением 500 кВ через узловы подстанции ПС «Магнитогорская» и ПС «Смеловская» с передачей электроэнергии по 9 линиям электропередачи 220 кВ и 2 линиям 110 кВ через подстанции ПС 90, ПС 77, ПС 86, ПС 60, ПС 30.

Проводился анализ соотношения активной и реактивной мощности для узлов МЭУ за 2007, 2009 и 2010 гг. Характерным является 2007 г. с максимальным потреблением активной и реактивной мощности Магнитогорским энергоузлом (до периода кризиса). Анализ показывает, что средние значения $\tan \varphi$ по основным узлам за март-апрель составляют: ПС 86 – 0,4; ПС 60 от 0,7 до 1,0; ПС 90 – 77 от 0,5 до 0,6; ПС 30 – от 1,0 до 1,5. Суммарный график электрических нагрузок по всем точкам поставки (без учета транзита 110 кВ) приведен на рисунке. Если соотношения активной и реактивной мощностей для ПС 86 и ПС 90 для данной конфигурации электрической схемы не превышают нормативных, то для других узлов они являются повышенными. Особенно это относится к узлу ПС 30, для которой значение $\tan \varphi$ превышает допустимое более чем в 2 раза. Этот узел оказывает решающее влияние на соотношение $\tan \varphi$ для всего МЭУ, которое в соответствии с рисунком составляет около 1,0.

Проведенный анализ суточных графиков электрических нагрузок в основных узлах МЭУ напряжением 220 кВ за декабрь 2009 г. и июнь 2010 г. (период «выхода из кризиса») показал, что соотношения реактивной и активной мощности остаются примерно на уровне 2007 г. Диапазоны изменения $\tan \varphi$ приведены в табл. 1.

Из представленных выше данных видно, что значения $\tan \varphi$ для отдельных точек поставки ООО «МЭК» много больше рекомендованных в приказе №49 [1]. Превышение $\tan \varphi$ допустимых значений приводит к существенному повышению тарифов на передачу электроэнергии по сетям энергосистемы. Таким образом, с целью снижения тарифа на передачу электроэнергии нужно снижать $\tan \varphi$ путем компенсации реактивной мощности. Для компенсации реактивной мощности в сетях промышленных предприятий рекомендуется применять статические источники реактивной мощности, такие как конденсаторные батареи (КБ), фильтрокомпенсирующие устройства (ФКУ), синхронные тиристорные компенсаторы (СТК) и синхронные двигатели (СД). Причем при наличии СД следует использовать их в первую очередь, так как это не связано с затратами на установку компенсирующих устройств. Каждый установленный синхронный двигатель является источником реактивной мощности, минимальное значение которой по условию устойчивой работы двигателей определяется из выражения [4]:

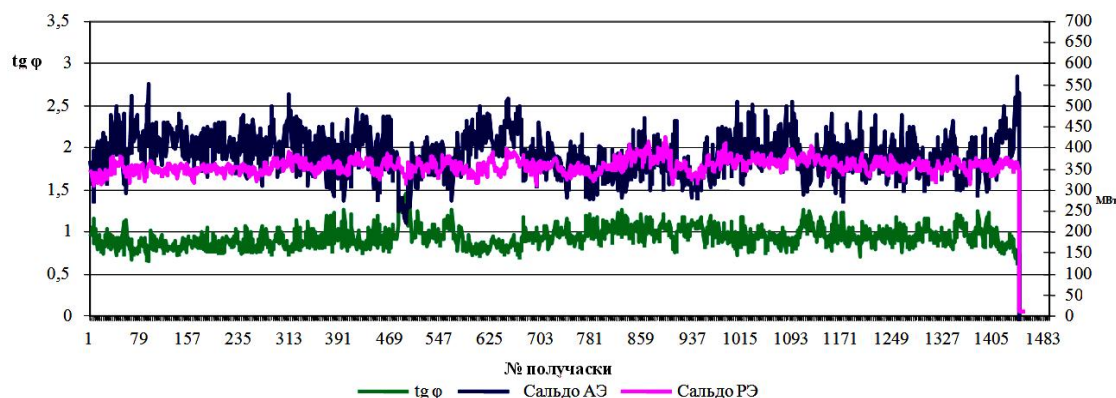
$$Q_{сд} = P_{сд,ном} k_z \tan \varphi_{ном}, \quad (1)$$

где $P_{сд,ном}$ – номинальная активная мощность; k_z – коэффициент загрузки СД по активной мощности.

Если значение $P_{сд,ном}$ равно или больше указанного в «Указаниях...» [3], а также в [5, табл. 9.4], то $Q_{сд}$ вычисляется по формуле

$$Q_{сд} = \alpha_m S_{сд,ном}, \quad (2)$$

где α_m – коэффициент допустимой перегрузки (находят по номограмме [5]); $S_{сд,ном}$ – номинальная мощность СД.



Соотношение активной и реактивной мощности, потребляемой ООО «МЭК» суммарно по всем точкам поставки (ПС 220 кВ + 110 кВ – транзит 110 кВ, март 2007)

Годовую стоимость потерь активной мощности определяют по выражению

$$C_0 = \left(\frac{\alpha}{T_M} + \beta \right) \tau_M, \quad (3)$$

где α – основная ставка двухставочного тарифа, руб./кВт·год; β – дополнительная ставка двухставочного тарифа, руб./кВт·ч; T_M – годовое число часов использования максимальной нагрузки; τ_M – число часов максимальных потерь (определяется в зависимости от T_M и годового времени включения T_B).

При оплате электроэнергии по одноставочному тарифу в (3) учитывается только одна составляющая. Для ОАО «ММК» $\beta = 2,2$ руб./кВт·ч

Если рассматривать вариант, что на действующем предприятии уже установлены синхронные двигатели, то согласно [5,6] приведенные затраты на уже установленные на предприятии СД определяются из выражения

$$Z_{CD} = z_1 Q + z_2 Q^2, \quad (4)$$

где Q – генерируемая СД реактивная мощность; z_1 и z_2 –

удельные затраты соответственно на 1 МВАр и 1 МВАр² генерируемой СД реактивной мощности.

Составляющие этого выражения вычисляются по формулам:

$$z_1 = C_0 \frac{D_1}{Q_{ном}}, \quad (5)$$

$$z_2 = C_0 \frac{D_2}{Q_{ном}^2}, \quad (6)$$

где D_1 и D_2 – постоянные, характеризующие потери мощности и зависящие от технических параметров двигателя, кВт. Их значения приведены в [3] и учтены в дальнейших расчетах.

Общие удельные затраты (руб. на 1 кВАр генерируемой мощности)

$$Z = z_1 + z_2 Q. \quad (7)$$

В табл. 2 приведены результаты расчетов удельных затрат на компенсацию реактивной мощности для используемых в ОАО «ММК» СД.

Таблица 2

Результаты расчетов удельных затрат на компенсацию реактивной мощности

Тип двигателя	Частота вращения	$P_{ном}$, кВт	$Q_{ном}$, кВАр	$Q_{сд}$, кВАр	D_1 , кВт	D_2 , кВт	z_1 , руб./кВАр	z_2 , руб./кВАр	z_0 , руб./кВАр
СТД-1600-2	3000	1600	705	564	4,64	5,57	53,57	91,22	105,02
СТД-2000		2000	1020	816	5,37	6,8	42,85	53,2	86,27
СТД-3200		3200	1600	1885	7,13	10,1	31,271	27,11	82,37
СТД-6300		6300	3150	3710	8,98	16,3	23,21	13,37	72,81
СТД-10000-2		10000	5000	5888	11,9	21,4	19,37	6,97	60,40
СТМ-1500-2	3000	1500	900	564	4,24	6,24	48,96	102,2	106,59
СТМ-3500		3500	1600	2061	7,16	10,1	36,43	32,11	102,62
СТМ-6000-2		6000	3150	3533	8,98	16,3	23,21	13,37	70,45
СТМ-9000-2		9000	4500	5300	10,4	19,4	18,81	7,8	60,14
СТМ-12000-2		12000	6200	7067	17	24,4	22,32	5,17	58,83
СДН-16-51	500	1250	642	514	8,63	7,61	109,42	150,2	186,61
СДН-15-39-10	600	1000	511	428	7,66	5,38	122,02	167,7	193,80
СДН-16-71		1600	820	656	9,43	8,24	93,61	99,75	159,05
СДН-14-46	750	800	430	344	4,9	4,57	92,76	201,1	161,97
СДН-15-49		1600	812	650	7,2	7,83	72,18	96,67	134,97
СДН-14-49	1000	800	430	327	4,3	4,11	81,4	80,9	107,85
СДН-1459		1000	645	516	4,07	3,99	51,39	78,07	91,67
СДН-15-64-6		2500	1275	1020	8,13	7,74	46,9	38,8	85,40
СДНЗ-17-766-12	500	3210	1600	1292	7,16	10,1	36,42	51,38	102,80
СДНЗ-18-91		6300	3160	2528	14,2	19,4	36,58	15,81	76,56
СДНЗ-16-69-6	1000	3200	1625	1300	11,3	11	56,6	33,91	100,69
СДНЗ-18-74-16	1000	4000	2000	1600	14,1	11,8	57,39	24,01	95,81
СДПЗ-29-11-14	428	6300	3150	2520	14,2	19,4	36,69	15,91	76,80
МС-322	600	1050	511	409	6,61	5,88	105,29	183,3	180,23
МС-213-15/8	750	5000	2500	2000	15	12,8	48,84	16,67	82,18
МС-1300	1000	900	511	409	5,09	3,09	81,08	96,33	120,46
МС-322	1000	1450	645	516	6,67	6,98	74,18	86,57	118,85
МС-325		2300	1010	808	8,39	7,2	67,62	57,45	114,04
МС-180		3250	1620	1296	11,3	11	56,78	34,12	101,00
МС-325	3000	9000	3980	3184	78,7	37	30,96	19,01	91,49
СД-2-85-47	750	500	257	206	5,05	3,63	159,95	447,3	251,93
ДС-143-59		1600	812	643	7,22	7,33	72,38	90,49	130,53
ДС-213	250	600	331	265	6,86	5,45	168,7	404,9	275,92

Тип двигателя	Частота вращения	$P_{ном}$, кВт	$Q_{ном}$, кВАр	$Q_{сд}$, кВАр	D_1 , кВт	D_2 , кВт	$З_1$, руб./кВАр	$З_2$, руб./кВАр	$З_0$, руб./кВАр
СДС3-16-51	500	1600	820	656	9,51	11	94,4	133,1	135,16
СДС3-19-56	375	5000	2500	2000	18,5	13,8	60,24	47,97	96,18
СДС3-19-125-16		18500	5200	4160	35,5	19,7	55,57	5,93	80,24
СДС3-290		2800	1280	1024	13,2	13,1	83,94	65,08	150,59
ДС3-18-10	600	2000	1010	808	10,7	8,68	26,24	69,26	122,20
ДС3-180	750	2300	1307	1045	12	4,92	74,74	23,44	99,25
СДЗ-14-59	1000	1000	511	409	5,09	3,99	31,74	124,3	121,93
ДС3-17-10-6		1230	645	516	6,77	6,98	85,44	136,5	155,91
ДС3-15-49		1440	817	653	7,58	7,56	75,52	92,19	135,78
СДЗ-15-76		2000	1010	808	8,39	7,2	67,62	57,45	114,04
ДСП-140	1500	2000	1010	808	8,06	7,53	64,96	60,09	113,51
ДСП-143-84		2500	1265	1012	9,2	8,93	59,2	45,42	105,17
ДСП-143-6	750	1600	812	650	7,22	7,33	50,38	90,49	119,16
ДСП-143/84-УХЛ4	1500	2500	1265	1012	12	4,92	77,22	25,03	102,54
ВДС-213-24-12	600	1500	812	650	7,79	6,99	78,09	86,3	134,15
ВДС-213-24-12	500	1300	637	510	8,41	6,09	107,47	122,1	169,73
СДВЗ-173-49		1600	820	656	9,51	11	94,4	133,1	181,76
СДЭУМ 14-26	1000	560	257	257	5,05	3,63	159,95	447,3	274,92
СДЭ2-15-34		630	327	261,6	5,6	4,06	139,4	309,0	220,25

Проведенные расчеты экономической целесообразности применения уже установленных синхронных двигателей позволяют сделать следующие выводы:

- Использование СД для компенсации реактивной мощности экономически целесообразно при частоте вращения не менее 1000 об/мин и установленной активной мощности не менее 800 кВт.
- Рекомендуется использовать в целях компенсации СД типов СТД, СТМ, СДН, СДНЗ, МС, ДСП. Общие удельные затраты на 1 кВАр генерируемой мощности для этих двигателей не превышают 120 руб./кВАр, что согласуется с результатами [7]. СД с удельными затратами выше указанных не рекомендуется использовать для компенсации реактивной мощности из экономических соображений.
- Целесообразно использовать СД, работающие с относительно равномерным характером нагрузки и с постоянной уставкой возбуждения как при наличии, так и отсутствии АРВ.
- Использование крупных СД ответственных механизмов с переменной нагрузкой потребует уточненных обоснований и дальнейших согласований.

Более экономичным вариантом является использование установленных и устанавливаемых статических компенсирующих устройств, содержащих конденсаторы (регулируемые и нерегулируемые конденсаторные установки, ФКУ). Как показывают расчеты, удельные затраты на 1 кВАр генерируемой реактивной мощности не превышают 25 руб./кВАр при трехфазной работе и 15 руб./кВАр при двухфазной в случае необходимости регулирования реактивной мощности. В настоящее время большое количество конденсаторных установок напряжением 10 (6) и 0,4 кВ отключены и нуждаются в ремонте и наладке. Необходимо увеличить коэффициент использования ФКУ.

Для выявления возможности снижения предель-

ных значений коэффициента реактивной мощности в часы наибольших суточных нагрузок электрической сети проводились расчеты по компенсации реактивной мощности уже имеющимися в ОАО «ММК» компенсирующими устройствами в узлах ПС 30, 60, 77. Расчет проводился с помощью разработанной на кафедре электроснабжения промышленных предприятий МГТУ им. Г.И. Носова программы «Анализ и оптимизация режимов» (свидетельство №2007611306 Роспатента) [7]. Итоги расчета по снижению коэффициентов реактивной мощности представлены в табл. 3.

Таблица 3

Коэффициент реактивной мощности до и после компенсации

Узел подстанции	tg φ	
	до компенсации	после компенсации
ПС 30	1,06	0,8
ПС 77	0,68	0,4
ПС 60	1,01	0,79

По итогам расчетов можно сделать вывод, что tg φ на ПС 30, 60 и 77 удастся существенно снизить. На ПС 30 его удалось снизить на 25%. Это достигается за счет включения фильтров на шинах ПС 29 и ПС 29Г, а также использования реактивной мощности двигателей. С введением в эксплуатацию ЛПЦ-11 и ПС 23 появится возможность дополнительно подключить трехфазные фильтрующие конденсаторы ААМ – 8,2 кВ мощностью 4800 кВАр каждый в количестве 6 установок (суммарная мощность составит 28,8 МВАр) и снизить значение tg φ в узле нагрузки. В узле ПС 77 за счет использования реактивной мощности фильтров на ПС 22, ПС 41А, синхронных компенсаторов ПС 22, синхронных двигателей tg φ удастся снизить до 0,40, что не превышает нормативное значение 0,5. В узле ПС 60 загрузка синхронных компенсаторов №1-3, установленных в ЛПЦ-8, и использование реактивной

мощности двигателей компрессорных станций №3 и 4 (ПС 80К, ПС 85Х) позволяет уменьшить коэффициент реактивной мощности на вводах 220 кВ с 1,01 до 0,79 (на 21,8%). Снижение коэффициента реактивной мощности на вводах напряжением 220 кВ до 0,6 достигается при использовании реактивной мощности прокатных двигателей ЛПЦ-3.

В соответствии с [9] был выполнен расчет ожидаемого экономического эффекта. Новые нормативные документы по условиям потребления реактивной мощности устанавливают предельное значение коэффициента реактивной мощности $\text{tg}\varphi_{\text{норм}}=0,5$ в точках присоединения потребителя (ОАО «ММК») к электрической сети напряжением 220 кВ.

Расчет проведен по данным поставки электроэнергии для ОАО «ММК» за 2009 г.: средняя мощность за год составила 170 МВт, тариф на услуги по передаче электроэнергии по сетям филиала «Челябэнерго» МРСК Урала 316 000 руб./ (МВт·мес), среднее значение фактического коэффициента реактивной мощности по всему Магнитогорскому энергетическому узлу без учета транзита и сторонних потребителей $\text{tg}\varphi_{\text{факт}}=0,8$.

В соответствии с «Указаниями...» составляющую снижения тарифа за участие потребителя в регулировании реактивной мощности определяют по формуле

$$C_{\text{бр}} = 0,02(\text{tg}\varphi_{\text{факт}} - \text{tg}\varphi_{\text{норм}})d_{\text{бр}}, \quad (8)$$

где $d_{\text{бр}} = 0,8$ – отношение электрической энергии, потребленной в период больших нагрузок, к энергии, потребленной за расчетный период; 0,02 – среднее значение понижающего коэффициента к тарифу на услуги за участие потребителя в регулировании реактивной мощности.

Плата за услуги по передаче электрической энергии за год:

$$W_{\text{зод}} = 170 \times 316000 \times 12 = 644640 \text{ тыс. руб./год.}$$

Ожидаемый экономический эффект составит:

$$\Delta = 0,02(0,8 - 0,5) \times 0,8 \times 644640000 = 3,094 \text{ млн руб./год.}$$

ВЫВОДЫ:

1. Выполнен анализ соотношения активной и реактивной мощности для МЭУ, который показал, что для ряда узлов указанные соотношения практически неизменны (ПС 86 – 0,4). Для некоторых напряжений точек поставки $\text{tg}\varphi$ колеблется в значительных пределах (ПС 30 от 1 до 1,5).

2. Для повышения реактивной мощности рекомендовано использовать синхронные двигатели следующих типов: СТД, СТМ, СДН, СДНЗ, МС, ДСП по критерию удельных затрат на компенсацию реактивной мощности.

3. В условиях ОАО «ММК» выполнен анализ использования существующих и вновь устанавливаемых компенсирующих устройств. Рекомендовано задействовать фильтры на ПС 29 и 29Г в узле ПС 30, фильтры на ПС 22 и 41А в узле ПС 77 и СК ЛПЦ-8 (узел ПС 60). Мероприятия, которые предложены в статье, позволяют снизить $\text{tg}\varphi$ с 1,06 до 0,8 на ПС 30, с 0,68 до 0,4 на ПС 77, с 1,01 до 0,79 на ПС 60. Произведен расчет ожидаемого экономического эффекта, который показал, что внедрение предложенных мероприятий позволит снизить услуги по передаче электрической энергии по сетям филиала «Челябэнерго» МРСК Урала на 3,09 млн руб в год, что говорит о их целесообразности.

Список литературы

1. О порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии, применяемых для определения обязательств сторон в договорах об оказании услуг по передаче электрической энергии (договоры энергоснабжения): Приказ Минпромэнерго РФ №49 от 22.02.2007 г.
2. Постановление Правительства Российской Федерации №530 «Об утверждении Правил функционирования розничных рынков электрической энергии в переходный период реформирования электроэнергетики» (Собрание законодательства Российской Федерации, 2006, №37, ст. 3876) от 31 августа 2006 г.
3. Постановление Правительства Российской Федерации №861 «Об утверждении Правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг, Правил недискриминационного доступа к услугам по оперативно-диспетчерскому управлению в электроэнергетике и оказания этих услуг, Правил недискриминационного доступа к услугам администратора торговой системы оптового рынка и оказания этих услуг и Правил технологического присоединения энергопринимающих устройств (энергетических установок) юридических и физических лиц к электрическим сетям» от 31 августа 2006 г.
4. Иванов В.С., Соколов В.И. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1987. 336 с.
5. Железко Ю.С. Новые нормативные документы, определяющие взаимоотношения сетевых организаций и покупателей электроэнергии в части условий потребления реактивной мощности // Промышленная энергетика. 2008. №8. С. 2-6.
6. Инструктивные материалы Главгосэнергонадзора / Минэнерго СССР / Указания по компенсации реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1985. 290 с.
7. Вагин Г.Я., Головкин Н.Н., Юртаев С.Н. К вопросу об экономической целесообразности применения синхронных двигателей для компенсации реактивной мощности на промышленных предприятиях // Промышленная энергетика. 2009. №6. С.41-47.
8. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2007611306. Программа «Расчет и оптимизация установившихся и переходных эксплуатационных режимов параллельной и раздельной работы с энергосистемой и режимов замыкания на землю с оценкой влияния на электрооборудование в системах электроснабжения промышленных предприятий» / В.А. Игуменцев, В.В. Зиновьев, А.В. Малафеев, О.В. Буланова // Программы для ЭВМ, базы данных, ТИМС. 2007. №2.
9. Об утверждении Методических указаний по расчету повышающих (понижающих) коэффициентов к тарифам на услуги по передаче электрической энергии в зависимости от соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии, применяемых для определения обязательств сторон по договорам об оказании услуг по передаче электрической энергии: Приказ №219-э/6 от 31 августа 2010 г.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

DECREASE IN TARIFFS FOR ELECTRIC POWER TRANSFER AT THE EXPENSE OF COMPENSATION OF JET POWER

Zaslavets B.I., Malafeev A.V., Yagolnikova E.B.

Abstract. Results of calculations of specific expenses for compensation of jet power, coefficient of jet power are presented in article before compensation, expected economic effect in the conditions of the

industrial enterprise. The general recommendations about compensation of jet power at the expense of use of certain types of synchronous motors are provided.

Keywords: electric power losses, active capacity, jet capacity, compensation of jet power, coefficient of jet power, synchronous motors, tariffs for electric power transfer.

References

1. About a procedure of payments of values of a ratio of consumption of active and jet power for separate power accepting devices (groups of power accepting devices) the consumers of electric energy applied to definition of obligations of the parties in contracts on rendering services in transfer to electric energy (power supply contracts): The order of the Ministry of Industry and Energy of the Russian Federation № 49 from 22.02.2007.
2. The resolution of the government of the Russian Federation №530 "About the approval of Rules of functioning of the retail markets of electric energy in a transition period of reforming of power industry" (The Russian Federation Code, 2006, N 37, Art. 3876) of August 31, 2006.
3. The resolution of the government of the Russian Federation №861 «About the approval of Rules of non-discriminatory access to services in transfer of electric energy and rendering these services, Rules of non-discriminatory access to services in supervisory control in power industry and rendering these services, Rules of non-discriminatory access to services of Trading System Administrator of the wholesale market and rendering these services and Rules of technological connection of power accepting devices (power installations) legal entities and individuals to electric networks» of August 31, 2006.
4. Ivanov V.S., Sokolov V.I. *Rezhimy potrebleniya i kachestvo jelektrounergii sistem jelektrouabzheniya promyshlennyh predpriyatij*. [Modes of consumption and quality of the electric power of systems of power supply of the industrial enterprises]. Moscow: Energoatomizdat, 1987. 336 p.
5. Zhelezko Yu.S. *Novye normativnye dokumenty, opredelajushhie vzaimootnosheniya setevyh organizacij i pokupatelej jelektrounergii v chasti uslovij potrebleniya reaktivnoj moshhnosti*. [New piece of iron the normative documents defining relationship of the network organizations and buyers of the electric power regarding conditions of consumption of jet power]. *Promyshlennaja jenergetika*. [Industrial power]. 2008, no.8, pp. 2-6.
6. Instructive materials of the Glavgosenergonadzor / the Ministry of Energy of the USSR /Instruction on compensation of jet power in electric networks of the industrial enterprises. Moscow: Energoatomizdat, 1985. 290 p.
7. Vagin G.Ya. Golovkin N.N., Yurtayev S.N. *K voprosu ob jekonomicheskoj celesoobraznosti primeneniya sinhronnyh dvigatelej dlja kompensacii reaktivnoj moshhnosti na promyshlennyh predpriyatijah*. [To a question of economic feasibility of use of synchronous motors for compensation of jet power at the industrial enterprises]. *Promyshlennaja jenergetika*. [Industrial power]. 2009. no.6. pp. 41-47.
8. Certificate on official registration of the computer program №2007611306. «Calculation and Optimization of the Established and Transitional Operational Modes of Parallel and Separate Work with a Power Supply System and Short Circuit Modes on the Earth with an Assessment of Influence on Electric Equipment in Systems of Power Supply of the Industrial Enterprises»/VA program. Igumenshchev, V.V. Zinovyev, A.V. Malafeev, O.V. Bulanova // The computer programs, databases, TMS. Moscow: FIPS, 2007, №2.
9. About the approval of Methodical instructions by calculation of raising (lowering) coefficients to tariffs for services in transfer of electric energy depending on a ratio of consumption of active and jet power for separate power accepting devices (groups of power accepting devices) the consumers of electric energy applied to definition of obligations of the parties on contracts on rendering services in transfer to electric energy: Order № 219-3/6 of August 31, 2010.

ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И РЫНОК ПРОДУКЦИИ

УДК 658.7

Латфуллин Р.Р., Васильева Н.Ф.

ОСОБЕННОСТИ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СНАБЖЕНИЯ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ХОЛДИНГАХ

Аннотация. В статье анализируются особенности материально-технического снабжения в металлургических холдингах. Особую актуальность исследуемая проблема приобретает в связи с тем, что черная металлургия является одной из базовых отраслей российской экономики. Исследуемую проблему авторы статьи показывают на примере такого металлургического холдинга, как ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

Ключевые слова: металлургический холдинг, материально-техническое снабжение, оборотные средства, производственные запасы, оборачиваемость, управление запасами.

В ходе проведения рыночных преобразований, начиная с 1991 года, в экономике Российской Федерации произошли существенные изменения: поменялась система материально-технического обеспечения промышленных предприятий; централизованный механизм снабжения предприятий промышленности сменили рыночные схемы. Преобразования также затронули отрасль, имеющую стратегическое значение в развитии страны и формирующую существенную часть валового внутреннего продукта (ВВП) России, – черную металлургию. Сегодня черная металлургия – это 7% ВВП страны, это 12% от объемов промышленного производства и 6% экспорта [1].

Организация снабжения предприятий, образующих отрасль черной металлургии, оказывает существенное влияние на показатели их деятельности в силу высокой материалоемкости отрасли: «Доля затрат на закупки в выручке предприятий ... металлургии до 65%. ... металлургическая промышленность является одной из самых затратных отраслей экономики» [2, с. 75]. Рассмотрим то, как поменялась система материально-технического обеспечения металлургических предприятий.

Металлургические предприятия нашей страны в условиях плановой экономики выступали единственными хозяйствующими субъектами. Организацию их снабжения осуществляли государственные органы. При этом существовали виды снабжения, на базе которых была построена система управления запасами. Так, снабжение железорудным и угольным сырьем происходило децентрализованно с предприятий добывающей промышленности. В отношении вспомогательных материалов, топлива, тары, сменного оборудования, запасных частей и т.д. применялось централизованное снабжение со специально функцио-

нирующих складов. Распределение поступивших материалов в металлургическом комбинате происходило централизованным образом (рис. 1).

В нынешних условиях системы снабжения, регулируемой государственными органами, не существует. Произошло постепенное преобразование территориальных органов Госснаба СССР, являвшихся органами административно-командного управления, в региональные оптово-торговые организации и коммерческие предприятия через их приватизацию. При этом установившиеся хозяйственные связи между металлургическими предприятиями и созданными торговыми организациями остались прежними [3], что объясняется уникальностью технологии производства металлопродукции и специфичностью некоторых видов материалов, применяемых в черной металлургии.



Рис. 1. Организация материально-технического снабжения металлургических предприятий в условиях плановой экономики

Также значительно поменялась структура самих металлургических предприятий. Крупные металлургические комбинаты путем выделения обслуживающих производств в дочерние предприятия преобразовались в холдинги [4]. В состав многих вновь образовавшихся металлургических холдингов путем вертикальной интеграции вошли горно-обогатительные комбинаты, угольные шахты, поставляющие сырье для металлургических подразделений холдингов [5].

В настоящее время металлургические холдинги при организации закупок стараются перейти на долгосрочные отношения, используя вертикальную интеграцию или заключая долгосрочные договора на поставку основного сырья [2]. Таким способом металлургические компании сводят к минимуму негативные колебания рыночной конъюнктуры по закупаемым материалам.

Таким образом, организация материально-технического снабжения металлургических компаний претерпела существенные изменения и в настоящих условиях имеет структуру, представленную на рис. 2.

Если в условиях плановой экономики организацией материально-технического снабжения подразделений занимались специальные службы металлургического предприятия, обеспечивавшие доставку материальных ресурсов от поставщиков на централизованные склады предприятия, которые затем поступали в соответствующие подразделения предприятия (за исключением некоторых видов ресурсов, поступавших транзитом сразу в цехи), то в современных условиях относительной самостоятельности дочерних компаний, входящих в состав металлургических холдингов, сложилось, как показал анализ, несколько вариантов их материально-технического обеспечения.

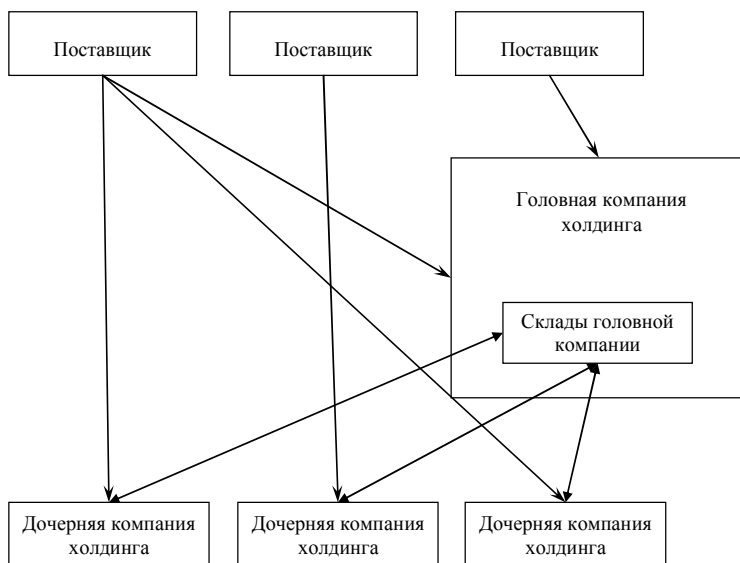


Рис. 2. Схема организации материально-технического снабжения металлургических холдингов в условиях рыночной экономики

Рассмотрим организацию материально-технического снабжения отдельно взятой дочерней компании металлургического холдинга. В рамках действующих металлургических холдингов снабжение входящих в них дочерних обществ будет иметь следующую структуру (рис. 3).

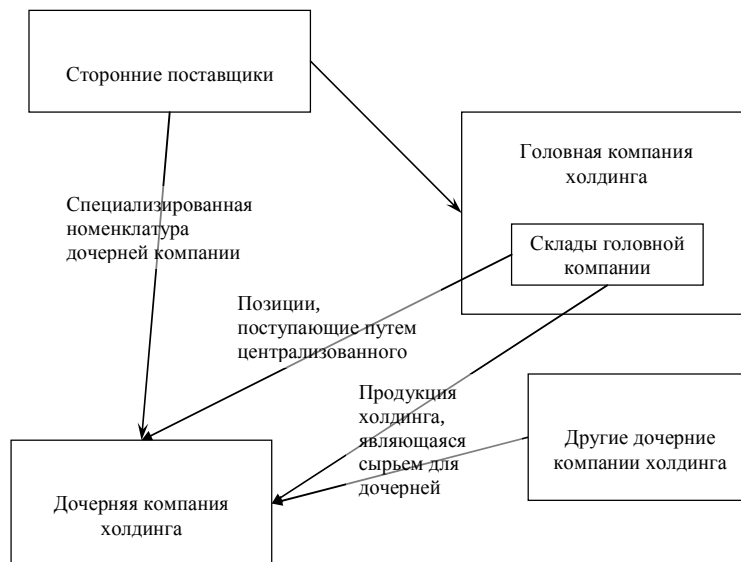


Рис. 3. Организация материально-технического снабжения дочерних компаний металлургического холдинга

В рамках существующих систем материально-технического обеспечения в металлургических холдингах обеспечение дочерних компаний осуществляется следующими способами:

- централизованно через структуры головной компании холдинга (централизованный закуп);
- приобретение материально-технических ресурсов, являющихся сырьем для дочерней компании, у других предприятий холдинга, включая материнскую компанию;

– по «агентским» договорам, т.е. обеспечение компании холдинга материально-техническими ресурсами путем заключения компанией холдинга договора купли-продажи с поставщиком, определенным головной компанией после проведения процедуры выбора поставщика;

– самостоятельно у стороннего поставщика путем заключения дочерней компанией прямого договора купли-продажи с поставщиком, выбранным самой дочерней компанией.

В случае централизованного закупа обеспечение компаний холдинга материально-техническими ресурсами осуществляется специализированным подразделением головной компании (например, коммерческой службой). При определении способа обеспечения приоритет отдается данному механизму.

Закуп материально-техническими ресурсами между компаниями холдинга осуществляется самостоятельно, разреше-

ние на оплату от головной структуры не требуется.

Обеспечение компании холдинга путем заключения «агентских» договоров может осуществляться по следующим критериям:

- закупаемая продукция является непересекающейся с другими компаниями холдинга;

- продукция является специализированной и уникальной для потребности/технологии дочерней компании, при этом доставку данной продукции не могут обеспечить поставщики, обеспечивающие продукцией аналогичной категории и имеется возможность консолидации объема по поставщику;

- продукция, необходимая для ремонтов, по которым отсутствует возможность корректно и в регламентные сроки планировать обеспечение при ничтожных (по стоимости) объемах поставки. Ничтожность по стоимости определяется специализированным подразделением головной компании.

Самостоятельное обеспечение дочерней компанией возможно в случае нецелесообразности осуществления закупки централизованно (специализированные номенклатурные позиции дочерней компании, ничтожность закупаемой партии, другие критерии), а также когда позиция и/или поставщики новые и необходимо время на изучение конъюнктуры рынка. В последнем случае срок самостоятельного обеспечения ограничен определенным периодом, после которого используется один из вышеназванных способов материально-технического обеспечения, принятых к использованию в металлургическом холдинге.

Для выяснения того, какое влияние оказало изменение системы материально-технического обеспечения металлургических предприятий на показатели их деятельности, проведем анализ состояния оборотных средств вообще и производственных запасов в частности. В качестве примера рассмотрим металлургический холдинг ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК») в условиях плановой экономики (1989-1991 гг.) и в нынешних условиях (2006-2011 гг.). В советский период предприятие составляло единую хозяйственную единицу, в современных условиях рассмотрим данные группы компаний, используя консолидированную отчетность группы ОАО «ММК». Использование относительных показателей позволит произвести такое сравнение.

Важной характеристикой оборотных средств является их структура. Анализ структуры (рис. 4) выявил, что в течение

рассматриваемого периода структура претерпела значительные изменения.

Анализ динамики оборачиваемости оборотных средств за анализируемые периоды представлен в табл. 3.

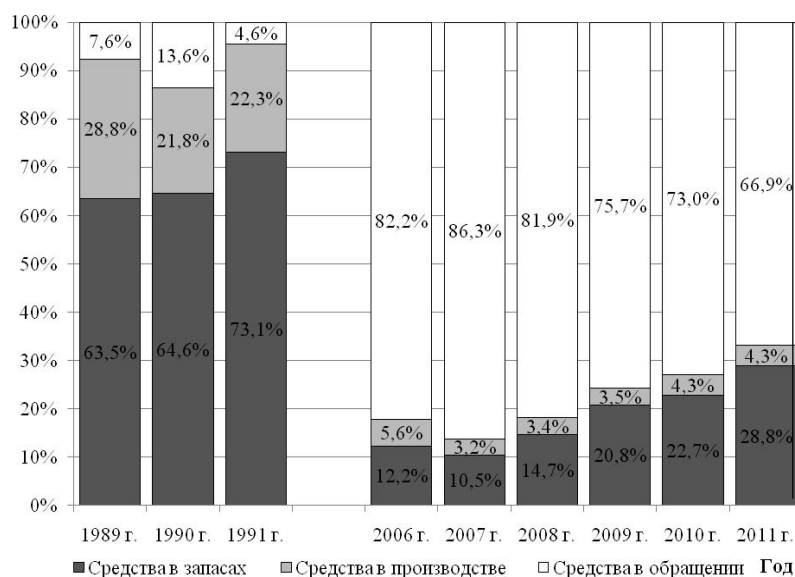


Рис. 4. Структура оборотных средств

Для более детального понимания указанных тенденций проанализируем оборачиваемость оборотных средств в днях в разрезе их структурных составляющих (рис. 5).

Проведенный анализ показал, что произошли существенные изменения в состоянии оборотных средств вообще и производственных запасов в частности. Усложнение расчетов между хозяйствующими субъектами, широкое применение коммерческого кредита оказало существенное влияние на оборотные средства – удельный вес средств в обращении значительно увеличился, оборачиваемость значительно выросла в первую очередь из-за средств в обращении. В отношении запасов произошло снижение их доли в оборотных средствах, но в то же время в последние периоды отмечается рост длительности их оборота. Выявленные тенденции являются отражением отсутствия оптимальных критериев при управлении производственными запасами на предприятиях металлургического холдинга.

Таблица 3

Оборачиваемость оборотных средств

Коэффициенты	1989г	1990г	1991г	2006г	2007г	2008г	2009г	2010г	2011г
Коэффициент оборачиваемости	9,76	8,04	7,39	2,59	1,92	2,91	2,09	2,59	2,85
Длительность оборота	37,4	45,4	49,4	140,9	190,3	125,5	174,6	141,1	128,5
Коэффициент загрузки средств в обороте	0,10	0,12	0,14	0,39	0,52	0,34	0,48	0,39	0,35

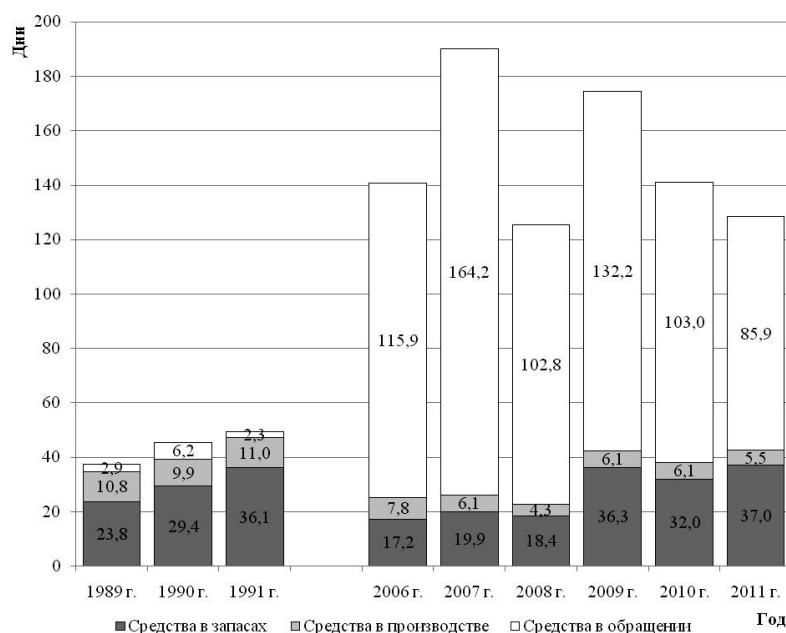


Рис. 5. Динамика оборачиваемости в днях структурных составляющих оборотных средств

Резюмируя вышесказанное, можно отметить, что в условиях холдинга имеются некоторые особенности в снабжении входящих в него организаций. Так, для дочерних компаний характерна привязка к снабженческим структурам основной (материнской, головной) компании. Таким образом, можно говорить о существовании смешанной структуры снабжения обслуживающих производств металлургических

холдингов, где помимо поступающих от сторонних поставщиков материалов, к которым применимы традиционные формы снабжения, появляются специфические для дочерней компании запасы: продукция холдинга и материальные ресурсы, поступающие с общих складов холдинга. Кроме того, в ходе анализа в металлургическом холдинге оборотных средств вообще и производственных запасов в частности наметилась тенденция роста длительности их оборота, что является отражением отсутствия оптимальных критериев при управлении производственными запасами на предприятиях металлургического холдинга.

Список литературы

1. Совещание о состоянии и перспективах развития чёрной металлургии // Официальный сайт Президента России В.В. Путина, 16 июля 2012 года. Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/transcripts/16000> (дата обращения: 18.10.2012).
2. Плещенко В.И. Институциональный аспект материально-технического снабжения предприятий черной металлургии // Черная металлургия. 2012. №1. С. 75-81.
3. Буданов И.А. Черная металлургия в экономике России / Рос. акад. наук, Ин-т народнохоз. прогнозирования. М.: МАКС-пресс, 2002. 427 с.
4. Васильева Н.Ф., Латфуллин Р.Р. Особенности управления производственными запасами в обслуживающих структурах металлургических холдингов // Дискуссия: журнал научных публикаций. 2012. №9 (27). С. 41-45.
5. Штанский В.А., Краснова Н.А. Стимулы и факторы различных форм интеграции российских металлургических компаний в условиях глобализации мировой экономики // Экономика в промышленности. 2011. №3. С. 3-10.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

FEATURES LOGISTICS IN METALLURGICAL HOLDINGS

Latfullin R.R., Vasileva N.F.

Abstract. In the article the characteristics of logistics in metallurgical holdings are analyzed. Particularly relevant problem gets investigated in connection with the fact that the steel industry is one of the basic branches of the Russian economy. The authors of the article show the investigated problem on the example of such metallurgical holding, as the Magnitogorsk Iron and Steel Works OJSC.

Keywords: a metallurgical holding, material supply, working capital, factory stocks, turnover, inventory management.

References

1. Meeting on the status and prospects of black metallurgy. The official website of the President of Russia, Vladimir Putin, 16 July 2012. Mode of access: <http://www.kremlin.ru/transcripts/16000> (date accessed: 18/10/2012).
2. Pleschenko V.I. Institucional'nyj aspekt material'no-tehnicheskogo snabzhenija predpriyatij chernoj metallurgii. [Institutional aspect of logistics

enterprises of ferrous metallurgy]. *Metallurgija*. [Metallurgy]. 2012, no.1, pp. 75-81.

3. Budanov I.A. *Chernaja metallurgija v jekonomike Rossii*. [Iron and steel industry in the economy of Russia]. Ros. Acad. Sciences, Institute of narodnohoz. forecasting. Moscow: MAKSS Press, 2002, 427 p.
4. Vasilyeva N.F., Latfullin R.R. Osobennosti upravlenija proizvodstvennymi zapasami v obsluzhivajushih strukturah metallurgicheskikh holdingov. [Features control of inventory in service structures metallurgical holdings]. *Diskussija: zhurnal nauchnykh publikatsiy*. [Discussion: Journal of scientific publications], 2012, no.9 (27), pp. 41-45.
5. Shtansky V.A., Krasnov N.A. Stimuly i faktory razlichnykh form integracii rossijskikh metallurgicheskikh kompanij v uslovijah globalizacii mirovoj jekonomiki. [Incentives and pressures of various forms of integration of Russian metallurgical companies in the globalization of the world economy]. *Ekonomika i promyshlennost'*. [Economics in the industry]. 2011, no.3, pp. 3-10.

УДК 65.012.2

Одер Д.Е.

СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ В ОБЛАСТИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА И ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА В РОССИИ

Аннотация. В статье рассматривается степень развития человеческого капитала на примере уровня производительности труда в Российской Федерации в разрезе различных отраслей экономики. Представлены пути повышения интенсивного экономического роста страны в контексте стратегического планирования.

Ключевые слова: производительность труда, интенсивный экономический рост, человеческий капитал, инновации.

В ноябре 2012 г. Государственной думой РФ был рассмотрен и принят в первом чтении разработанный Министерством экономического развития России проект Федерального Закона «О государственном стратегическом планировании». Предполагается, что он вступит в силу с 1 января 2014 года [1]. Основная идея документа – создание правовой основы для разработки, построения и функционирования комплексной системы государственного стратегического планирования социально-экономического развития, которая позволит в краткосрочной перспективе, в том числе, повысить уровень человеческого капитала. Основу этой системы будут составлять взаимосвязанные документы государственного стратегического планирования – материалы по государственному прогнозированию и программно-целевому, а также территориальному планированию, федерального, регионального и местного уровней. По словам проректора по инновационно-образовательной деятельности Российского нового университета, доктора технических наук академика РАН Владимира Минаева, «закон о стратегическом планировании – очень нужный документ, именно потому, что он всеобъемлющий и комплексный. До этого мы вырывали отдельные фрагменты из общего контекста развития страны. Теперь же появится документ, который концентрирует все сферы в одной массе и увяжет эти направления» [2].

Появление данного законопроекта вызвано текущими проблемами как на макроуровне всего мира в целом, так и на уровне страны. По последним данным прогноза Европейского Банка Реконструкции и Развития, выпущенного в начале мая 2013 г., рост ВВП в России составит 1,8%, в то время как в 2012 г. был 3,4% [3]. Также по данным Федеральной службы государственной статистики население страны снизилось с 146 млн человек в 2000 году до 143 млн человек в 2012 г. [4]. Таким образом, необходимо четкое территориальное и демографическое планирование. При этом в условиях мирового кризиса и отрицательной динамики демографического развития страны прежде всего необходимо сделать упор на интенсивный экономический рост в контексте развития интеллектуального и человеческого капиталов в целом.

Понятие «человеческий капитал» интенсивно используется мировой экономической наукой, определившей необходимость и высокую эффективность вложений в человека. Как заявил американский исследова-

тель Дж.Грейсон, «именно человеческий капитал, а не заводы, оборудование и производственные запасы, являются краеугольным камнем конкурентоспособности, экономического роста и эффективности» [5].

Наиболее наглядно степень развития человеческого капитала возможно рассмотреть на примере текущей производительности труда в России. По данным Международного валютного фонда, за период с 2000 по 2012 гг. российская экономика выросла в 1,8 раза [6]. При этом исследование, проведенное консалтинговой компанией McKinsey и MGI «Lean Russia: Sustaining economic growth through improved productivity», показало, что в российской экономике производительность труда составляет 26% от уровня в США. Конечно, не совсем корректно принимать США за 100% и слепо равняться на них. Есть структурные отличия. Но для целей анализа абстрагируемся от этого.

В данном исследовании производительность труда рассчитывается как объем произведенной продукции (или оказываемых услуг) на одного работника [7]. В упрощенном виде применительно ко всей экономике можно сказать, что производительность труда – это ВВП в расчёте на одного занятого.

Выводы исследования заключают в себе тот факт, что «за счет оптимизации регулирования и применения более высоких навыков труда Россия могла бы сократить разрыв с США в производительности труда сразу на 49%» [8], а при использовании современных конструкций это добавит ещё 24% роста производительности труда.

Так, к примеру, необходимо модернизировать, а в некоторых отраслях и заменить стандарты производства. Например, строительство угольной теплоэлектростанции в Западной Европе на 25% дешевле, нежели аналогичное строительство в России. Но если повысить эффективность закупок, то возможно сэкономить 12%, если прекратить систему «откатов» (что возможно при централизованной системе), экономия составит 14%, а на стандартизации – 11%. Все эти меры осуществимы при тесном взаимодействии результатов интеллектуального капитала нации (или фирмы), т.е. произведенных инноваций и эффективно-го стратегического менеджмента.

При этом есть резервы для повышения производительности труда. В компании X5 Retail Group несколько тысяч человек обрабатывают тонны бумаг.

Переход на электронный документооборот позволит сократить эту армию и снизить издержки производства. Но это вопрос налогового учета: до сих пор Министерство финансов РФ и Федеральная налоговая служба РФ требовали предоставлять все документы в бумажном виде. Если чиновников устроит проверка всей документации в электронном виде, ритейлер сможет сократить 2-3% персонала. Есть и некоторые структурные отличия, из-за которых в российском ритейле занято объективно больше работников. Так, ассортимент в России гораздо менее сбалансированный, чем на Западе, поэтому на приемке товара приходится держать больше людей.

Другой успешный сектор российской экономики – сталелитейный. Он оказался самым производительным из исследованных McKinsey: 31% от уровня США. Получается, что для выплавки тонны стали в России требуется примерно втрое больше рабочих, чем в США.

Основная проблема заключается в неэффективной организации труда, которая, как правило, выливается в бюрократическую волокиту. К примеру, на согласование и получение необходимых бумаг при строительном проекте в России уходит 704 дня, в то время как в США всего лишь 40 дней.

Одними из самых неэффективных в России оказались строительный и банковский сектора. По данным McKinsey, производительность труда розничных банков в России в 10 раз ниже, чем в Западной Европе. Это объясняется тем, что российские особенности не позволяют банкам России работать столь же качественно. В частности, требования ЦБ по положению 318-П «О порядке ведения кассовых операций» и 115-ФЗ «О противодействии отмыванию средств, полученных преступным путем», которые ведут к увеличению времени обслуживания. В строительном секторе есть и другой фактор отставания в производительности труда. Так, российские строительные нормы и правила (СНиПы) значительно жестче, чем западные. И хотя формально СНиПы перестали быть обязательными, крайне сложно получать строительные согласования без соответствия им.

На данный момент, кризис дает дополнительное время для того, чтобы заложить правильный фундамент для следующего этапа долгосрочного роста, который в современных условиях возможен. Во время кризиса необходимо уделить внимание эффективности работы компаний и определению стратегии дальнейшего развития экономики государства.

Государству необходимо преодолеть ряд проблем на пути к повышению производительности труда. Почему так важно делать упор именно на производительность труда? Высокая производительность труда – основа устойчивого интенсивного экономического роста. И для достижения этого роста необходимо:

1. Ввести более частое применение комплексного подхода к планированию развития стратегических отраслей.

2. Борьба с неэффективной организацией труда. Для российских компаний характерны такие недостатки, как низкий уровень автоматизации, наличие

ненужных функций и процессов, а также дефицит навыков управления проектами.

3. Заменить неэффективные технологии и устаревшее оборудование. Данный фактор в различных отраслях тормозит производительность труда от 20 до 60%. К примеру, почти 40% российских теплоэлектростанций работают на устаревшем оборудовании, а 16% сталитейных заводов используют устаревшие мартеновские печи.

Повышение производительности труда потребует совместных усилий государства и компаний по решению наиболее важных задач. Чтобы ускорить восстановление после экономического спада, России необходима долгосрочная стратегия по росту эффективности и конкурентоспособности экономики. Сложная экономическая ситуация создаёт дополнительные стимулы для скорейшего решения проблемы низкой производительности труда. Ответ заключается в развитии инноваций [9]. Но данная проблема является комплексной и не может быть решена в кратчайшем периоде. Для стратегического управления необходим плановый подход, т.к. именно с помощью планирования возможно решить такие глубинные проблемы.

Таким образом, государству следует сосредоточиться на внедрении комплексного подхода к планированию, т.е. использованию стратегического планирования на всех уровнях экономики. Недостаточное эффективное планирование сказывается на развитии всей страны в целом. А при планировании эффективной стратегии необходимо учитывать регулирующий параметр государства в отношении рынка. И в данном случае необходимо использовать советский опыт народно-хозяйственного планирования. Опыт СССР «для минимизации потерь человечества в нахождении выхода из современного глобального экономического кризиса бесценен» [10]. Так, в долгосрочной перспективе возможно применение динамической системы межотраслевого баланса, разработанной Н.И. Ведутой, что может позволить правительству страны эффективно управлять, т.к. данный метод основан на опыте плановой экономики и учитывает несогласованность некоторых показателей баланса и «сложившуюся институциональную структуру» [11].

Резюмируя, можно сделать вывод, что в условиях мирового финансового-экономического кризиса, назревших и неразрешённых хозяйственных проблем развитие интеллектуального капитала, который является базовой и неотъемлемой частью человеческого капитала, в условиях глобального формирования экономики знаний может стать реальным фактором устойчивого экономического развития. Полноценное развитие такого комплексного феномена невозможно в условиях хаотичного рынка. Ответом на созревшие проблемы является введение элементов стратегического планирования для целей повышения производительности труда и интенсивного экономического роста России.

Список литературы

1. Проект Федерального закона №143912-6 «О государственном стратегическом планировании». <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?>

- req=doc;base=PRJ;n=98540
2. Парламентская газета. <http://www.pnp.ru/comment/detail/11675>
3. European development bank cuts growth forecast for emerging economies. <http://www.reuters.com/article/2013/05/10/us-ebd-economy-idUSBRE9490QG20130510>
4. Росстат: Годовые данные. Численность и состав населения. http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/
5. Грейсон Дж., О'Дейл К. Американский менеджмент на пороге XX века. М.: Экономика, 1991. С. 196.
6. Международный валютный фонд. World Economic Outlook Database, апрель 2013. <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2013/01/weodata>
7. http://www.mckinsey.com/mgi/reports/pdfs/lean_russia/russian_lang/MGI_lean_russia_chapter_1.pdf
8. http://www.mckinsey.com/mgi/publications/lean_russia/
9. Юдина Т.Н. Инновации и цикличность российской экономики (в контексте концепций Н.Д.Кондратьева и С.Ю.Глазьева) // Инновационное развитие экономики России : сценарии и стратегии : Пятая международная научная конференция. М.: ТЕИС, 2012. С.124-129.
10. Ведута Е.Н. Стратегия и экономическая политика государства. М.: Академический проект, 2003. С. 416.
11. Ведута Е.Н. Указ. соч. С. 406.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

STRATEGIC PLANNING IN THE FIELD OF PRODUCTIVITY AND ECONOMIC GROWTH IN RUSSIA

Oder D.E.

Abstract. This article discusses the degree of development of human capital on the example of the labour productivity level in the Russian Federation in terms of different sectors of the economy. There are presented ways of improving the country's intensive economic growth in the context of strategic planning.

Keywords: labour productivity, intensive economic growth, human capital, innovations.

References

1. Draft Federal Law №143912-6 «Regarding state strategic planning. <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=PRJ;n=98540>
2. The parliamentary newspaper. <http://www.pnp.ru/comment/detail/11675>
3. European development bank cuts growth forecast for emerging economies. <http://www.reuters.com/article/2013/05/10/us-ebd-economy-idUSBRE9490QG20130510>
4. Federal State Statistics: Annual data. The size and composition. http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/
5. Grayson J., O'Dell Carla. *American management at the threshold of the XXI century*. Moscow: Economics, 1991, p. 196.
6. The International Monetary Fund. World Economic Outlook Database, April 2013. <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2013/01/weodata>
7. http://www.mckinsey.com/mgi/reports/pdfs/lean_russia/russian_lang/MGI_lean_russia_chapter_1.pdf
8. http://www.mckinsey.com/mgi/publications/lean_russia/
9. Yudina T.N. Innovacii i ciklichnost' rossijskoj jekonomiki (v kontekste koncepcij N.D.Kondrat'eva i S.Ju.Glaz'eva). [Innovation and cyclicity of the Russian economy (in the context of N.D.Kondrat'ev and S.Yu.Glazev concepts). *Innovacionnoe razvitiie ekonomiki Rossii: stsennari i strategii: Plataia mezhdunarodnaia nauchnaia konferentsia*. [Innovative development of Russian economy: scenarios and strategies: The Fifth International Scientific Conference]. Moscow: TEIS, 2012, pp. 124-129.
10. Veduta E.N. *Strategija i jekonomicheskaja politika gosudarstva*. [The strategy and economic policy of state]. Moscow: Academic Project, 2003, p. 416.
11. Veduta E.N. Idem. 406 p.

УДК 622.27

Акшенцев Ф.И., Трильев А.Е.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОПЛАТЫ ТРУДА ВОДИТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ БЕЛАЗ НА СИБАЙСКОМ ПОДЗЕМНОМ РУДНИКЕ

Аннотация. В статье представлено экспериментальное положение по оплате труда водителей автомобилей БелАЗ с применением системы учета производственных результатов «светофор»; последовательность расчета заработной платы водителей, показатели для определения расценки за результат труда по итогам работы за месяц. На примере расчета заработной платы за июнь 2012 г. представлены преимущества экспериментального положения по сравнению с существующим.

Ключевые слова: совершенствование, эффективный час, производительность, система учета «светофор».

В связи с тем, что эффективность производственного процесса транспортирования горной массы, производительность оборудования и труда персонала не соответствуют требованиям руководства ОАО «УГОК», ключевым персоналом предприятия был выполнен анализ факторов, оказывающих существенное влияние на снижение эффективности производства. Кроме того, для выявления этих факторов было проведено анкетирование работников производственного участка эксплуатации технического транспорта №8 (ПУЭТТ №8) (табл. 1).

По результатам проведенного анкетирования и анализа факторов – интерес «заработная плата» и «перспектива стабильной работы» отмечены работниками участка самыми приоритетными и с большим отрывом опережают все остальные. В связи с этим был выполнен корреляционный анализ существующей системы оплаты водителей автомобилей БелАЗ, который показал, что основным недостатком является отсутствие достаточной тесноты связи между результатом труда работника и его заработной платой (рис. 1).

Таблица 1

Оценка интересов работников ПУЭТТ №8

№ п/п	Интересы	Водители	Руководители участка	Специалисты по организации труда	Всего
1	Заработная плата	70	68	40	262
2	Перспектива стабильной работы	40	62	36	222
3	Выполняемая производственная функция	36	66	28	212
4	Возможность карьерного роста	28	64	42	152
5	Роль и значимость на комбинате	40	48	22	140
6	Взаимоотношения	42	34	8	120
7	Режим работы	50	32	4	90
8	Своя репутация	16	12	14	78
9	Квалификация	16	16	14	74
10	Взаимодействие	24	18	6	48
11	Репутация организации	2	8	6	42
12	Социальная инфраструктура предприятия	12	12	0	40
13	Доступ к ресурсам	16	8	4	32

■ самый важный ■ весьма важный ■ имеющий значение
■ очень важный ■ важный

Было принято решение о совершенствовании существующей на предприятии системы оплаты труда водителей. На базе используемой с апреля 2012 г. системы учета производственных результатов «светофор» было разработано экспериментальное положение по оплате труда рабочих, которое включает в себя расчет по следующим составляющим заработной платы:

- постоянная часть, включающая в себя: тариф; доплату за работу в ночное время; праздничные; ком-

пенсационную выплату за работу с вредными и (или) опасными условиями труда; вознаграждение за стаж работы; надбавку за профессиональное мастерство водителям;

- оплата за время производства ремонтных работ (текущих, плановых и аварийных) – повременнo, по часовой тарифной ставке присвоенного разряда III группы тарифных ставок за фактически отработанное время без начисления премии;

- оплата за время производства капитальных ремонтов – повременнo, по часовой тарифной ставке присвоенного разряда III группы тарифных ставок за фактически отработанное время с начислением премии в размере 50% при условии соблюдения графика ремонта;

- переменная часть (надбавка);

- районный коэффициент.

Оплата переменной части (надбавки) водителя автомобиля рассчитывается как произведение количества часов эффективного

времени в отчетном месяце на расценку за единицу труда (утвержденной на год).

$$P_c = T_э \cdot P, \quad (1)$$

где P_c – переменная (сдельная) часть оплаты труда водителя автомобиля, руб.; $T_э$ – эффективное время работы водителя автомобиля в отчетном месяце, ч; P – расценка за единицу труда (1 час эффективного времени работы) водителя автомобиля, руб./ч.

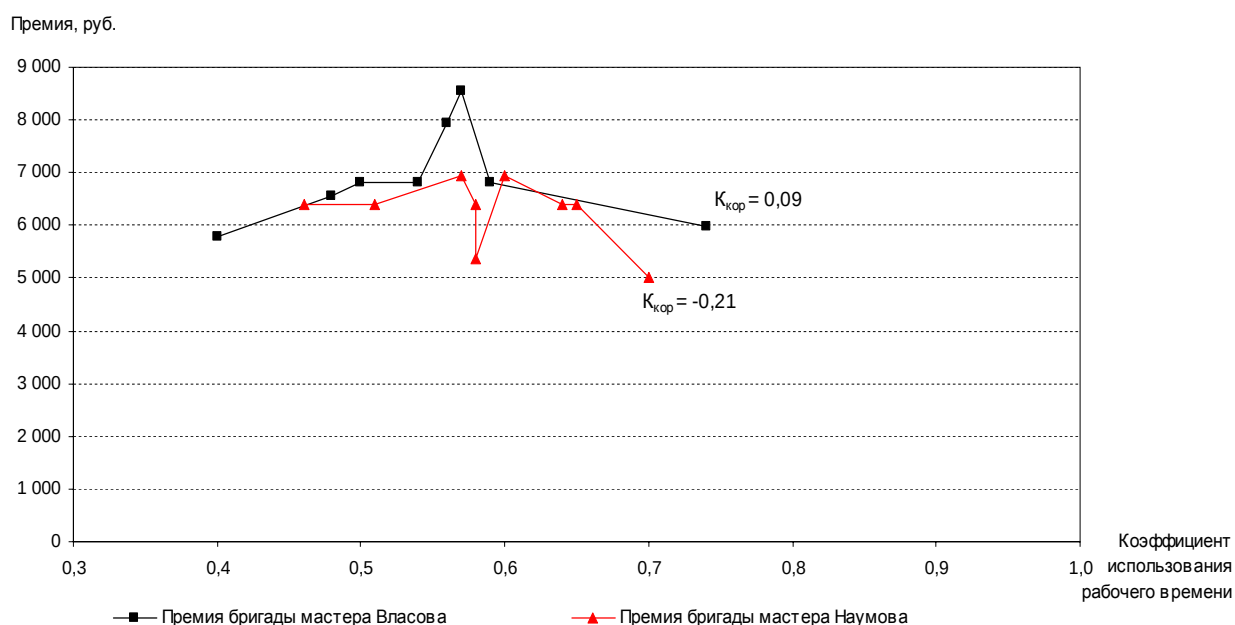


Рис. 1. Анализ переменной части (премии) оплаты труда водителей по существующему положению за июнь 2012 г.

Эффективное время работы – время, в течение которого водитель и оборудование выполняют свои основные функции с рациональными параметрами. Количество эффективно отработанных часов водителем автомобиля в отчетном месяце определяется как сумма отношений перевезенного объема груза к норме выработки.

$$T_3 = (V_1/N_1 + V_2/N_2 + V_3/N_3 + \dots + V_n/N_n) \cdot K_{кор}, \quad (2)$$

где V_1, V_2, V_n – объем перевезенного груза водителем автомобиля с каждого запланированного объекта (данные по системе учета «светофор»), ткм; N_1, N_2, N_n – часовая норма грузоперевозок, рассчитана по каждому объекту в отдельности с учетом приведенного расстояния и уточняется при изменении объектов или расстояния грузоперевозок, ткм/ч; $K_{кор}$ – коррекционный коэффициент.

Коррекционный коэффициент рассчитывается как отношение перевезенного объема груза по маркшейдерским замерам к оперативным данным в системе учета «светофор»:

$$K_{кор} = \frac{\sum_{марк}}{\sum_{опер}}, \quad (3)$$

где $\sum_{марк}$ – объем выполненных работ на основании маркшейдерских замеров, ткм; $\sum_{опер}$ – объем выполненных работ на основании оперативных данных си-

стемы учета «светофор», ткм.

Расценка за час эффективного времени работы определяется на основании значения коэффициента использования рабочего времени водителя автомобиля и представлена в табл. 2.

Таблица 2

Расценка эффективного часа по итогам работы за месяц

Значение коэффициента использования рабочего времени (Ки)	До 0,5	От 0,51 до 0,7	Свыше 0,7
Расценка эффективного часа, руб.	50	60	70

Коэффициент использования рабочего времени водителя автомобиля рассчитывается как отношение эффективного времени работы к общему отработанному времени в отчетном месяце (включая ремонтные работы).

$$K_u = T_3 / T_{ф}, \quad (4)$$

где $T_{ф}$ – фактически отработанное водителем автомобиля время в отчетном месяце (включая ремонтные работы), ч.

Расчет заработной платы, с июня 2012 г., производится в двух вариантах – по экспериментальному и существующему положению. Результаты расчетов заработной платы водителей за июль 2012 г. по существующему и экспериментальному положению об оплате труда представлены в табл. 3. Из табл. 3 видно, что фонды оплаты труда (ФОТ) по бригаде по существующей (229 891 руб./мес.) и предлагаемой (220 367 руб./мес.) системам оплаты сопоставимы.

Таблица 3

Пример расчета заработной платы

Ф.И.О. водителя, гаражный номер автосамосвала, грузоподъемность	Количество отработанных часов, ч	Оплата по экспериментальному положению						Оплата по существующему положению			Разница надбавки и премии, руб.	Разница зарплат при расчете по экспериментальному и существующему положениям, руб.
		Эффективное время работы, ч	Коэффициент использования рабочего времени	Расценка, руб.	Надбавка, руб.	Постоянная часть, руб.	Всего зарплат, руб.	Премия, руб.	Основная часть, руб.	Всего зарплаты, руб.		
Смена №, мастер Власов												
1. Давыдов, №7, 30 т	179,2	131,7	0,74	70	9220	19647	28867	5 962,57	19647	25609	3257	3257
2. Осипов, №16, 30 т	179,2	70,8	0,40	50	3539	27092	30631	5 771,18	27092	32863	-2232	-2232
3. Мурапталов, №42, 30 т	179,2	99,5	0,56	60	5970	21794	27764	7 943,23	21794	29737	-1973	-1973
4. Харисов, №5, 45 т	179,2	97,3	0,54	60	5835	19494	25329	6 828,96	19494	26323	-994	-994
5. Клименков, №11, 45 т	172,8	85,3	0,48	50	4267	26688	30955	6 572,87	26688	33260	-2306	-2306
6. Баянов, №14, 45 т	179,2	105,4	0,59	60	6324	19494	25818	6 828,96	19494	26323	-505	-505
7. Греков, №15, 45 т	179,2	89,3	0,50	50	4466	19494	23960	6 828,96	19494	26323	-2363	-2363
8. Степанов, №29, 45 т	179,2	102,1	0,57	60	6126	20917	27043	8 536,19	20917	29453	-2410	-2410
					Итого ФОТ		220 367			Итого ФОТ		-9 524

Сравнительный анализ величин переменной части оплаты труда водителей смены мастера Власова по существующему и экспериментальному положению показал, что теснота связи результатов труда водителей с оплатой их переменной части за июль месяца увеличилась в 11 раз (рис. 2).

Таким образом, проведенные расчеты месячной оплаты труда водителей ПУЭТТ №8 и сравнительный анализ ее переменной части показали, что экспериментальное положение позволяет обеспечить более тесную

связь оплаты труда водителей с их результатами. Для успешного функционирования предложенного положения необходимы ежемесячный расчет коэффициента использования рабочего времени и фиксация его в системе учета «светофор». Совершенствование системы оплаты труда позволит в оперативном режиме оценивать индивидуальный вклад водителя в достижение требуемой производительности, прогнозировать результаты и самостоятельно каждому водителю рассчитывать свою заработную плату.

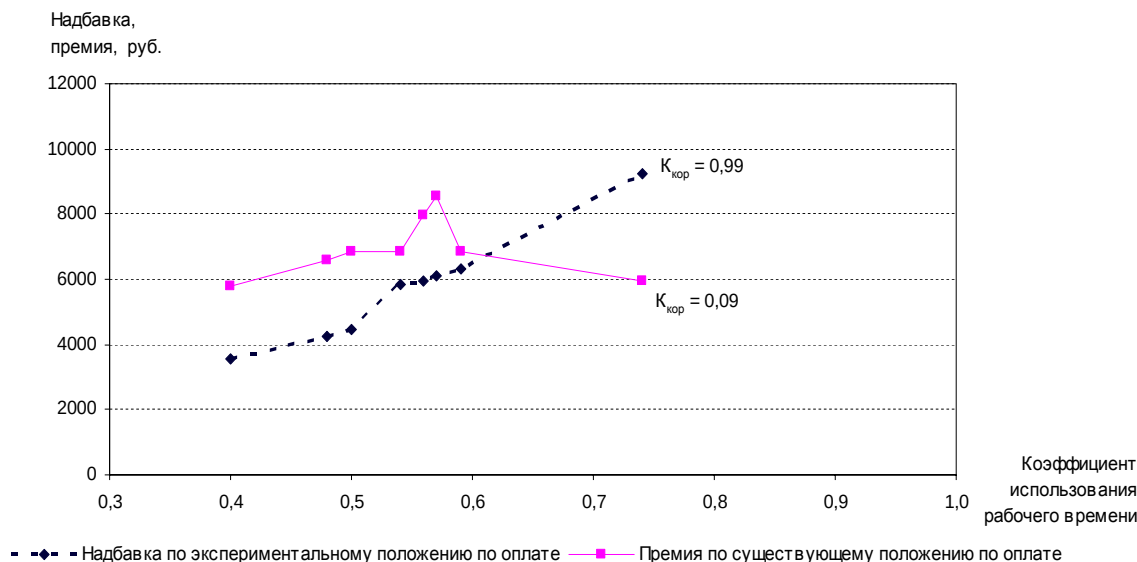


Рис. 2. Анализ переменной части (премии) оплаты труда водителей по существующему и экспериментальному положению за июль 2012 г.

Список литературы

1. Калимуллин Е.А., Акшенцев Ф.И., Макарова В.А., Трильев А.Е. и др. Совершенствование системы оплаты труда проходчиков на Сибайском подземном руднике // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. №4. С. 91-93.
2. Гибадуллин З.Р., Макшук Ф.Х., Макарова В.А., Сабанова М.Н. Система учета «светофор» как элемент улучшения организации труда // Кадровик. 2011. №8. С. 148-151.
3. Алексенко В.С., Акшенцев Ф.И., Браун О.Б. и др. Модели повышения эффективности и безопасности производства посредством совершенствования организации и оплаты труда: Отдельная статья Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала). М.: Горная книга, 2012. 50 с. (Сер. «Б-ка горного инженера-руководителя». Вып. 18).

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

IMPROVING THE SYSTEM OF WAGE DRIVERS OF THE CAR IN THE UNDERGROUND MINE OF SIBAY

Akshentsev F.I., Trilyev A.E.

Abstract. The paper presents an experimental situation on pay drivers BelAZ using the accounting system of production results «traffic light», a sequence of payroll drivers, indicators for determining the fees for the result of work by the end of this month. By the example of calculating the salary for June 2012 are presented the advantages of the experimental situation than the existing one.

Keywords: Improvement, effective hour, efficiency, accounting system «traffic light».

References

1. Kalimullin E.A., Akshentsev F.I., Makarova V.A., Trilyev A.E. Sovershenstvovanie sistemy oplaty truda prohodchikov na Sibajskom podzemnom rudnike. [Improving the system of wage sinkers in the underground mine of Sibay]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov]. 2012. no.4. pp. 91-93.
2. Gibadullin Z.R., Makshukov F.H., Makarova V.A., Sabanova M.N. Sistema ucheta «svetofor» kak jelement uluchshenija organizacii truda. [Accounting system «traffic light» as element of improvement of the organization work]. *Kadrovik*, 2011. no.8, pp. 148-151.
3. Aleksenko V.S., Akshentsev F.I., Brown O.B. and others. Modeli povyshenija jeffektivnosti i bezopasnosti proizvodstva posredstvom sovershenstvovaniya organizacii i oplaty truda: Otdel'naja stat'ja Gornogo informacionno-analiticheskogo bjulletenja (nauchno-tehnicheskogo zhurnala). [Models of efficiency and safety by improving the organization of production and wages: A separate article of the Mining Information and Analytical Bulletin (research journal)]. Moscow: Mining book, 2012, 50 p. (Series «B-ka mining engineer-manager», Vol.18).

УДК 005.342

Кузина Г.В., Усманова К.Ф.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИЙ

Аннотация. Коммерческая реализация инноваций давно занимает умы многих ученых экономистов. В данной статье рассмотрены вопросы коммерциализации инноваций. Приведена статистическая информация о созданных малых инновационных предприятиях в России, которые занимаются коммерциализацией инноваций. Описаны все стадии инновационного процесса: от создания идеи до конечной коммерциализации инновации с учетом постоянного обновления технологии, продукта. Рассматривая стадию получения охранных документов на интеллектуальную собственность, приведена статистика по России.

Описана каждая стадия коммерциализации инноваций и, таким образом, создан алгоритм, позволяющим другим, вновь создаваемым малым инновационным предприятиям его использовать в целях коммерческой реализации своих инноваций. Очень важным является этап оценки инноваций. Существует достаточно много способов данной оценки, но не все из них могут применяться при оценке новой технологии, нового продукта. В статье приведены основные методы оценки, описаны проблемы, которые могут возникать при оценке и будущем вложении интеллектуальной собственности в уставный капитал малого инновационного предприятия.

В заключении приведен практический опыт, основанный на созданном малом инновационном предприятии «ЭкоШина» при университете.

Ключевые слова: малые инновационные предприятия, инновации, коммерциализация, малый бизнес, бизнес-идеи, методы оценки нематериального актива.

Сегодня большое внимание уделяется инновационным проектам. Эти проекты состоят из самой бизнес-идеи и совокупности действий, способных реализовать эту идею в рыночной ситуации и в коммерческих целях, т.е. коммерциализация инновационных разработок.

Президент нашей страны сегодня большое внимание уделяет развитию экономики. Упор делается на инновации, которые повышают конкурентоспособность страны в целом. Сегодня недостаточно придумать оригинальную идею и описать ее реализацию в бизнес-плане, самое главное – реализовать эту идею в промышленных масштабах. При чем стоит учесть, что и промышленный масштаб будет иметь форму конкурентоспособного продукта.

На сегодняшний день удельный вес инновационных товаров в общем объеме отгруженных товаров малых предприятий в Челябинской области очень низок по сравнению с соседними субъектами Российской Федерации в Уральском регионе. Данные этого показателя приведены в табл. 1.

Таким образом, можно отметить, что развитие инноваций в Челябинской области несколько замедленно, по сравнению с соседними регионами. Это обусловлено тем, что в Челябинской области в основном развита черная металлургия. В развитии черной металлургии редко появляются инновационные продукты с точки зрения совершенной их новизны.

Согласно официальным источникам ежегодной статистической отчетности внедрением инноваций занимается всего 6,3% общего числа всех предприятий, а в промышленности этот показатель не более 10%. Рассмотреть ситуацию относительно малых инновационных предприятий в целом по стране нет возможности, так как не ведется отдельный статистический учет данных предприятий. Малые инновационные предприятия не выделены в отдельную категорию субъектов экономической деятельности, что не позволяет сделать точный и эффективный анализ деятельности данных предприятий.

Можно воспользоваться устаревшими данными Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере на 2002 год. В этом году в России в общей сложности было зарегистрировано около 30 тыс. малых инновационных предприятий с численностью занятых более 160 тыс. чел. К началу 2005 года их функционировало не больше 35 тыс., что составляло 3,3-3,5% от общего числа субъектов малого предпринимательства.

Таблица 1

Удельный вес инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг малых предприятий, по субъектам Российской Федерации, %

Субъект	2009 г.	2011 г.
Российская Федерация	1,38	1,48
Центральный федеральный округ	1,76	1,46
Северо-Западный федеральный округ	1,42	0,88
Южный федеральный округ	1,01	0,96
Северо-Кавказский федеральный округ	0,65	0,74
Приволжский федеральный округ	1,50	1,78
Уральский федеральный округ	0,67	1,74
Курганская область	0,46	2,28
Свердловская область	0,95	2,91
Тюменская область	0,55	0,89
Челябинская область	0,46	0,74
Сибирский федеральный округ	1,73	2,48
Дальневосточный федеральный округ	0,14	0,15

Но стоит отметить, что не все созданные предприятия до сих пор являются по-настоящему инновационными и не все продолжают проводить научные исследования и заниматься охраной интеллектуальной собственности. Многие из них коммерциализировали нововведения и ушли в производственный промышленный процесс, без создания каких-либо новых научных изысканий. Сегодня можно видеть, что мно-

гие предприятия лишь эксплуатируют то, что было разработано в советский период. Для таких предприятий инновации это всего лишь приобретение нового оборудования.

Россия проходит в настоящее время этап глобализации, и, таким образом, роль научно-технического прогресса непременно возрастает. Научно-технический прогресс позволяет обеспечить высокую конкурентоспособность страны на международном рынке. И именно поэтому государство выработало программу стратегического значения ускоренного развития инновационной сферы.

Сегодня государство разрабатывает достаточно много инструментов, необходимых для реализации программы стратегического развития. Очень часто важную роль играет своевременное целевое финансирование таких проектов. Еще одним необходимым условием реализации инновационной сферы является эффективное управление инновационными проектами и наукоемкими разработками, реализуемые в течение нескольких лет. К таким длительным инновационным проектам в основном относятся промышленные образцы, полезные модели, изобретения. Существует и другая быстрореализуемая категория инновационных проектов – это своего рода IT-технологии. Они не требуют больших финансовых вложений, их сроки окупаемости намного меньше в сравнении с производственными инновационными проектами.

Инновационный процесс – это научно-техническая деятельность, связанная с созданием новых идей для последующей их реализации. Коммерциализация таких новых продуктов должна обеспечивать удовлетворение рыночного спроса, т.е. этот продукт должен быть не просто востребован на рынке, но и приносить социально-значимую пользу для общества. Непрерывность и согласованность этих видов деятельности зависит от уровня взаимодействия науки, экономики и производства. Успех же в целом инновационной деятельности зависит от общей экономической ситуации в стране и государственной научно-технической стратегии.

Если смотреть какова ситуация в России в 2013 году в сфере предпринимательства, то можно увидеть, что развитие малого и среднего бизнеса резко упало из-за повышения сумм уплаты социальных взносов. Экономика данных предпринимательских структур вновь уходит в «тень». Факт увеличения социальных взносов играет большую роль в развитии малых инновационных предприятий, он показывает неготовность со стороны государства в принятии долгосрочной стратегии развития таких предприятий.

Ниже рассмотрим инновационный процесс изнутри, т.е. его внутренние факторы развития.

Инновационный процесс осуществляется по следующим ключевым этапам:

- поиск новых идей (технологий, продуктов, услуг);
- предварительный отбор новых идей;
- поиск инвестора;
- проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок;
- защита авторских прав (получение патента);

- производство опытного образца;
- проверка конкурентоспособности продукта;
- продвижение новых продуктов на рынки.

Сложный путь от появления и дальнейшей разработки идеи до создания новой продукции с обеспечением правовой защиты авторских прав и переходом к промышленному выпуску продукции, востребованной рынком, называется процессом коммерциализации инноваций.

Для создания малого инновационного предприятия необходимо в уставный капитал внести труды интеллектуальной деятельности, т.е. патент на изобретение, полезную модель. В табл. 2 представлены показатели патентных заявок и выдачи охранных документов в России. Больше всего подают заявки на полезные модели – их намного проще оформить и период оформления документов несколько меньше по сравнению с подачей заявки на изобретение. Также видно, что есть и отклоненные заявки, т.е. не соответствующие требованиям и в дальнейшем не подтверждающие право получения патента. Почти 50% от поданных заявок представляет Центральный федеральный округ. Это означает, что здесь наиболее эффективно ведется работа с нематериальными активами и в дальнейшем происходит их последующая быстрая коммерциализация.

Наличие эффективно развитой инновационной инфраструктуры обеспечивает реализацию основных этапов инновационного процесса от идей и научно-технических разработок до создания новых продуктов. Новые продукты должны быть привлекательными для инвестора, покупателей; они должны успешно продвигаться на рынок.

Для развития научно-технической деятельности должна быть создана экономически эффективная инновационная инфраструктура, которая может включать в себя:

- бизнес-инкубаторы;
- технопарки;
- патентные службы;
- развитую отрасль страхования рисков;
- современный фондовый рынок и т.д.

На международном рынке такие структуры объединяются в национальные и международные инновационные сети. Примером может являться «Европейская сеть деловых инновационных центров» (The European Business & Innovation Centers Network EBN). Эта сеть осуществляет поддержку и развитие инновационной деятельности в малом и среднем предпринимательстве в странах Европейского Союза. Основана она была в 1984 г. В настоящее время в нее входят 160 «Деловых инновационных центров» (Business & Innovation Centers-B.I.C.s.) и 70 ассоциированных членов. Внутри Европейской сети деловых инновационных центров функционируют инкубаторы, технопарки, инновационные и технологические центры, исследовательские институты, информационные системы, центры трансфера технологий и другие специализированные организации, направленные на эффективную коммерциализацию инноваций.

Таблица 2

**Поступление патентных заявок и выдача охранных документов в России,
по субъектам Российской Федерации***

Субъект	2011				2012			
	Подано патентных заявок		Выдано патентов		Подано патентных заявок		Выдано патентов	
	на изобретения	на полезные модели	на изобретения	на полезные модели	на изобретения	на полезные модели	на изобретения	на полезные модели
Российская Федерация	26 495	12 584	20 339	10 571	28 701	13 479	22 481	11 152
Центральный федеральный округ	12 596	5 343	10 988	4 458	14 352	5 680	11 178	4 594
Северо-Западный федеральный округ	2 549	1 418	1 653	1 087	2 289	1 481	1 854	1 289
Южный федеральный округ	1 484	686	1 310	590	1 585	793	1 336	618
Северо-Кавказский федеральный округ	1 176	167	393	123	1 539	157	994	124
Приволжский федеральный округ	4 457	2 612	2 954	2 224	4 614	2 926	3 532	2 415
Уральский федеральный округ, в т.ч.	1 271	1 032	803	894	1 256	1 070	1 046	948
Свердловская область	613	415	382	359	568	423	493	365
Тюменская область	204	144	127	121	191	165	154	135
Челябинская область	357	389	244	357	427	398	315	377
Сибирский федеральный округ	2 403	1 080	1 861	1 018	2 479	1 108	2 078	925
Дальневосточный федеральный округ	555	244	377	177	584	264	463	239
Не распределено по регионам	4	2	-	-	3	-	-	-
* По данным Роспатента. Данные представлены по российским заявителям.								

В России разработано множество программ для поддержания бизнес-идей. Если сделать анализ отраслей внедрения инноваций в России, то можно отметить, что самые благоприятные условия развития инноваций – в промышленном производстве и строительстве. Наименее благоприятные условия развития инноваций – на транспорте и в малом бизнесе. Стоит отметить и агропромышленную отрасль – здесь начинают появляться условия для развития инноваций, но внедрение происходит очень тяжело.

В Уральском округе осуществляется создание новых технопарков, реконструкция старых. Технопарки и бизнес-инкубаторы выполняют свою стратегию внедрения инноваций почти во всех субъектах Уральского федерального округа.

Также в Уральском федеральном округе сформирована благоприятная региональная нормативно-правовая база для развития инновационной деятельности. Основными препятствиями развития инновационной деятельности в стране в основном отмечают недостаток собственных финансовых средств предприятия, очень большой срок окупаемости, использование устаревшего оборудования, высокий риск из-за экономической и политической нестабильности. Выделяют и такие проблемы, как сохранение коммерческой тайны («ноу-хау»), оценка нематериального актива, передача прав на интеллектуальную собственность третьим лицам и т.д.

Поддержка идет по многим направлениям: экономическом, технологическом, информационном и др. Ежегодно проходит большое количество различных конференций, которые уже сегодня становятся традициями.

Так, конференция «Коммерциализация и трансфер инновационных разработок» стала уже традиционной. Она проходит в Екатеринбурге. Ее полезность заключается в том, что здесь можно наблюдать хорошие примеры успешной коммерциализации инноваций.

Проводятся и различные форумы. Ежегодно проходит Молодежный форум в г.Тюмень «Актив 2010, 2011, 2012». Этот форум собирает весь Уральский федеральный округ. Одной из его тематических площадок является площадка молодежного предпринимательства. На данной площадке обсуждаются различные проблемы, связанные с первыми шагами реализации бизнес-проектов. По окончании форума результатом является не только приобретение навыков и знаний, которые способны помочь в решении конкретных задач, но также спонсорская помощь на развитие бизнес-идеи.

Решение и обсуждение проблемы ведется не только благодаря конференциям. Существуют и другие способы и инструменты коммерциализации инновационных технологий.

В различных университетах существует множество идей, которые находят свою реализацию через

студентов и аспирантов (к примеру проводимые конкурсы в вузах – «Конкурс на лучший предпринимательский проект», Научно-исследовательские гранты и др.). Основным критерием данных мероприятий является способность создания малого инновационного предприятия на базе университета.

Для помощи и решения некоторых проблем создаются и учреждаются различные бизнес-инкубаторы или офисы коммерциализации инновационных технологий и разработок. Первоначально эти учреждения ведут отбор. Это может быть этап сбора заявок, определенная стадия регистрации бизнес-проектов, проведения ярмарок и других конкурсов. Все это требуется для выявления наиболее значимых в территориальных условиях проектов и, естественно, наиболее экономически эффективных.

Существуют различные методики, которые помогают осуществить отборы бизнес-проектов. Допустим методика, которая предполагает сбор информации о вузовских разработках, их ранжирование по приоритетам (вес критериев определяется в зависимости от приоритетных направлений деятельности вуза), предусматривает рассылку коммерческих предложений по предприятиям и частным фирмам, на базе которых могут быть реализованы эти проекты.

После отбора бизнес-проектов появляется возможность рекомендовать их к подаче заявки на финансирование в рамках федеральных целевых программ, из фонда поддержки малых форм предприятий в научно-технической сфере или через венчурные фонды.

Значительная часть отраслевых инноваций в рыночной экономике реализуется за счет частного капитала, готового идти на осознанный риск в целях получения сверхнормативной прибыли. Такая форма капиталовложения в мировой практике определяется как «венчурное финансирование», связанное с высоким риском.

Венчурное финансирование играет ведущую роль в успешном поиске новых идей и их продвижении до уровня инноваций с последующей их коммерциализацией. Однако частный венчурный капитал в силу ограниченности ресурсов заинтересован в максимизации прибыли в сравнительно короткие сроки и не стремится к решению стратегических проблем, связанных с развитием национальной экономики. В Челябинской области венчурное финансирование особо не развито.

Реализация любых инновационных проектов связана со множеством рисков, поэтому огромное значение имеет четкая государственная техническая политика, выраженная в системе мер правового регулирования и стимулирования научно-технической активности во всех сферах и секторах экономической деятельности. Инновационная политика предполагает наличие долговременной стратегии НТП с указанием важнейших приоритетов, ориентированных на разработку и реализацию целевых программ, обеспечивающих ускоренное развитие национальной экономики и повышение её международной конкурентоспособности. Такая политика предусматривает создание законодательных основ поддержки инновационной активности и защиты интеллектуальной собственности,

обеспечивает условия для формирования инновационной инфраструктуры, способствующей освоению и распространению нововведений на всех уровнях реальной экономической деятельности.

При разработке новой идеи и создании новой технологии, способа, модели, устройства или вещества авторы сосредотачивают все силы, прежде всего, на функциональной реализации замысла и преимущественных отличиях от существующих решений. Однако наряду с авторским приоритетом в условиях рыночной экономики наиболее важной является оценка возможного покупательского спроса и вероятность его удовлетворения при коммерциализации нововведения. Многие изобретатели игнорируют этот важнейший вопрос коммерческой реализации новшества, полагая, что сам факт новизны найденного решения обеспечит его рыночную привлекательность. В этой связи изобретателям необходимо либо самим знать о процедурах возможной коммерциализации их изобретений и особенностях ведения бизнеса в инновационной сфере или воспользоваться опытом и знаниями других специалистов и профессиональных менеджеров.

Наряду с разработкой нововведения необходимо прорабатывать и вопросы всех стадий коммерциализации инновационной разработки. Таким образом, инновационный путь, состоящий из множества стадий, от первоначальной разработки идеи до успешной реализации нового продукта на рынке, потребует привлечения научно-технических, юридических, производственных, финансовых и организационных ресурсов, масштабы которых авторам идеи малоизвестны, а способы и возможности их привлечения недоступны. Инновационный путь от идеи до рыночной реализации продукции может быть описан следующими наиболее важными этапами:

1. Разработка концепции инновационной идеи, чётко и ясно изложенной простым языком, понятным неспециалисту.
2. Анализ и оценка концепции с предварительными расчетами, эскизами и схемами, которые демонстрируют теоретическую возможность реализации изобретения.
3. На основе эскизного проекта создание рабочей модели, которая должна доказать реалистичность идей и позволяет проверить достижимость важнейших параметров будущего продукта и служит основой для последующего создания технического прототипа. Кроме того, на этой стадии осуществляется прогнозная оценка затрат для возможной коммерческой реализации инновации.
4. Проведение маркетингового анализа для оценки возможного покупательского спроса и возможность его удовлетворения при коммерциализации нововведения.
5. Создание прототипа, являющегося рабочим вариантом нововведения, осуществляющим все необходимые функции с требуемыми параметрами. Этот прототип служит для сбора и оценки данных по эксплуатационным технологическим характеристикам, необходимым для создания промышленного прототипа. На этом этапе принимаются необходимые меры по защите авторских прав.

6. После получения патента, необходимого для защиты авторских прав, необходима оценка нематериального актива. Оценка нематериального актива является важным этапом в коммерциализации проекта, т.к. от этого в основном зависит уставный капитал создаваемого малого инновационного предприятия (на базе образовательного учреждения по №217 ФЗ). Есть несколько методов оценки НМА: 1) рыночный (не всегда подходит, т.к. «нет сравнения»). Патент не имеет аналогов на рынке чаще всего; 2) затратный – не особо впечатляет внешних инвесторов, т.к. по данному методу стоимость может достигать не более 5000 руб. (учитываются затраты на уплату гос. пошлины на патент и его действие); 3) коммерческий – учитывает прибыль и рентабельность будущего проекта, его окупаемость. Не всегда применим: пока изготавливается промышленный прототип возможно изменение стандартов и полученный патент может оказаться бесполезным для внедрения; 4) совокупность коммерческого и затратного (строительства и внедрения) – создает реальную ситуацию для оценки НМА.

В каждом отдельном случае при создании Малого инновационного предприятия, стоит учитывать цели и задачи создаваемого предприятия и применить те или иные методы оценки НМА.

7. Создание промышленного, полностью функционирующего прототипа, который служит основой для разработки технико-экономических условий для обеспечения полномасштабного промышленного производства.

8. Создание промышленного образца со всеми эксплуатационными характеристиками свидетельствует о готовности к серийному производству. Эти образцы передаются специализированным независимым организациям для тестирования и сертификации с последующим вынесением экспертного заключения о полез-

ности и рыночной привлекательности нового продукта.

9. Заключительный этап коммерциализации инновационной разработки, связанный с организацией промышленного производства и с выходом на рынок.

На данный момент в городе Магнитогорске ведется деятельность по коммерциализации нескольких инновационных разработок. Одна из таких разработок – это новое производство по переработке изношенных шин (Малое инновационное предприятие на базе университета МГТУ ООО «ЭкоШина», имеется патент). Переработка и вторичное использование вышедших из эксплуатации шин имеют важное экономическое и экологическое значение. Это достаточно сложный производственный процесс, который требует не только финансовых вложений, но и профессионализма работников, правовую обеспеченность и множество других ресурсов. Сегодня это пока еще начинающее предприятие. Но уже сейчас оно заручилось помощью городского бизнес-инкубатора, городской администрацией. Участвует в различных конференциях, а также занимается отдельными видами деятельности (патентование, лицензирование и др.), используя учреждение образования в качестве консультантов в этих областях.

Список литературы

1. Коробейников О.П., Трифилова А.А., Коршунов И.А. Роль инноваций в процессе формирования стратегии предприятия // Менеджмент в России и за рубежом. 2000. №3.
2. Коптякова С.В., Кузина Г.В. Проблемы и перспективы развития производства по переработке вторичного сырья // Экономика. Социология и право. 2010. №4. С. 27-29.
3. Кузина Г.В. Проблемы и перспективы развития малых форм предприятий на базе университетов // Экономические, социальные и правовые исследования: сб. науч. тр./под ред. В.В. Филатова. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. С. 68-71.
4. Кузина Г.В. Методологические основы взаимодействия предпринимательских структур // Экономические, гуманитарные и правовые исследования: сб. науч. тр./под ред. В.В. Филатова. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. С. 31-34.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

ALGORITHM DEVELOPMENT COMMERCIALIZATION OF INNOVATION

Kuzina G.V., Usmanova C.F.

Abstract. Commercial realization of innovation long occupied the minds of many economists. In this article considers the issues of commercialization of innovations. Provide statistical information about the created small innovative enterprises in Russia engaged in the commercialization of the innovation. Describes all phases of the innovation process from the idea to the final commercialization of innovations with regard to continuous updating the technology, product. Considering the stage of obtaining titles of protection for intellectual property statistics for Russia.

Describes each stage of commercialization of innovation and thus created an algorithm which other newly created small innovative enterprises use it for commercial implementation of their innovation. Very important is the evaluation phase of innovation. There are many methods of this assessment, but not all of them can be used for the assessment of new technology, new product. The article contains the main methods of assessment, describes the problems that can occur when the evaluation and future attachment intellectual property in the authorized capital of a small innovative enterprise.

In conclusion, the author describes the experience based on the created small innovation enterprise at the University.

Keywords: innovative SMEs, innovation, commercialization, small business, business ideas, methods of assessment of the intangible asset.

References

1. Korobeynikov O.P., Trifilova A.A., Korshunov I.A. Rol' innovatsij v protsesse formirovaniya strategii predpriyatiya. [Role of innovations in the process of formation of strategy of the company]. *Menedzhment v Rossii i za rubezhom*. [Management in Russia and abroad]. 2000, no.3.
2. Koptyakova S.V., Kuzina G.V. Problemy i perspektivy razvitiya proizvodstva po pererabotke vtorichnogo syr'ya. [Problems and prospects of development of production for processing of secondary raw material]. *Ekonomika. Sotsiologiya i pravo* [Economy. Sociology and law]. Moscow, 2010, no.4, pp. 27-29.
3. Kuzina G.V. Problemy i perspektivy razvitiya malyx form predpriyatij na baze universitetov. [Problems and prospects of development of small forms of the enterprises on the basis of universities]. *Ekonomicheskie, sotsial'nye i pravovye issledovaniya: sb.nauch.tr./pod red. V.V. Filatova*. [Economic, social and legal research: scientific transactions. Ed. V.V. Filatov]. Magnitogorsk: Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov, 2011, pp. 68-71.
4. Kuzina G.V. Metodologicheskie osnovy vzaimodeystviya predprinimatel'skikh struktur. [Methodological bases of interaction of business structures]. *Ekonomicheskie, gumanitarnye i pravovye issledovaniya: sb.nauch.tr./pod red. V.V. Filatova* [Economic, humanitarian and legal research: scientific transactions. Ed. V.V. Filatov]. Magnitogorsk: Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov, 2012, pp. 31-34.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Акшенцев Федор Иванович – начальник бюро труда, заработной платы и планирования СПР Сибайского филиала ОАО «Учалинский ГОК», Республика Башкортостан. Тел.: (34775) 2-20-06. E-mail: FIAkshencev@sfugok.ru

Ангелова Елена Ивановна – горный инженер, аспирант кафедры подземной разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: Angelova.e@inbox.ru.

Аникина Валентина Ильинична – канд. техн. наук, доц. кафедры «Металловедение и термическая обработка металлов» ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Тел.: (391) 291-25-61.

Белевская Ирина Валерьевна – аспирант кафедры прикладной механики и графики ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8 (3519) 23-06-82. E-mail: belirena@yandex.ru.

Белевский Леонид Сергеевич – д-р техн. наук, проф. кафедры прикладной механики и графики ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: l.belevskiy@mail.ru.

Бигеев Вахит Абдрашитович – д-р техн. наук, проф., декан химико-металлургического факультета, зав. кафедрой металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8 (3519) 29-85-59. E-mail: v.bigeev11@yandex.ru.

Бикбаева Гульнара Амантаевна – аспирант кафедры «Обогащение полезных ископаемых» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: GulnaraBiKbaeva@yandex.ru.

Бричко Александр Геннадиевич – аспирант кафедры машин и технологий обработки давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519) 29-84-36. E-mail: 9121950@mail.ru.

Буланов Леонид Владимирович – канд. техн. наук, зав. расчетно-аналитической лабораторией МНЛЗ отдела научно-исследовательских работ ОАО «Уралмашзавод», г. Екатеринбург. Тел.: 8 (3433) 27-51-13. E-mail: L.Bulanov@uralmash.ru.

Вагин Владимир Сергеевич – канд. техн. наук, проф. кафедры ГМТТК ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519)29-85-20. E-mail: antoshey@mail.ru.

Васильева Надежда Федоровна – канд. экон. наук, доцент кафедры финансов и бухгалтерского учета ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519)23-03-73. E-mail: nfvasilyeva@mail.ru.

Вдовин Константин Николаевич – д-р. техн. наук, проф., зав. кафедрой электрометаллургии и литейного производства, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519)298419. E-mail: Vdovin@magtu.ru.

Голубчик Эдуард Михайлович – канд. техн. наук, доц. кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519)29-85-12. E-mail: golub66@mail.ru.

Дзюба Антон Юрьевич – зав. лабораторией сортового проката ЦКЛ ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». E-mail: dzyuba.ay@mmk.ru.

Емельяненко Елена Алексеевна – канд. техн. наук, доц. кафедры маршейдерского дела и геологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519) 29-85-40.

Ержанов Алмас Сатыбалдыевич – ст. преп. кафедры «Обработка металлов давлением» Карагандинского государственного индустриального университета, Республика Казахстан. Тел.: +7 (701) 239 42 97. E-mail: kaf-omd@mail.ru.

Ефимова Юлия Юрьевна – канд. техн. наук, доц. кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519) 29-85-12.

Загиров Николай Наильич – канд. техн. наук, доц. кафедры «Обработка металлов давлением» ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Тел.: (391) 206-37-31. E-mail: sbs270359@yandex.ru.

Зайцев Григорий Сергеевич – аспирант кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: kroll676@rambler.ru.

Заляднов Вадим Юрьевич – канд. техн. наук, доц. кафедры открытой разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519)298556. E-mail: zalyadnov@mail.ru.

Заславец Борис Иванович – канд. техн. наук, проф. кафедры электроснабжения промышленных предприятий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519) 29-84-79. E-mail: B_Zaslavets@mail.ru.

Иванов Евгений Владимирович – ст. преп. кафедры «Обработка металлов давлением» ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Тел.: (391) 206-37-31.

Ивин Юрий Александрович – зав. лабораторией электросталеплавленного производства ЦКЛ ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Тел.: 8 (3519) 25-45-51. E-mail: ivin.ya@mmk.ru.

Казakov Александр Сергеевич – канд. техн. наук, вед. специалист лаборатории непрерывной разливки стали ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Тел.: 8(3519)25-69-14. E-mail: kazakov.as@mmk.ru.

Калугина Ольга Борисовна – ст. преп. кафедры Информатики и информационных технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 29-84-78. E-mail: kalugina.olga@bk.ru

Ковалева Ангелина Адольфовна – канд. техн. наук, доц. кафедры «Металловедение и термическая обработка металлов» ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Тел.: (391) 291-25-61.

Коленчин Николай Филиппович – канд. техн. наук, проректор Тюменского государственного нефтегазового университета. Тел.: (3452) 256976, факс (3452) 256976. E-mail: kolenchin@tsogu.ru.

Колмогоров Герман Леонидович – д-р техн. наук, проф., действительный член РАЕН, зав. кафедрой «Динамика и прочность машин» ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». Тел.: 8 (342) 239-13-40. E-mail: dpm@pstu.ru.

Копцева Наталья Васильевна – д-р техн. наук, доц. кафедры материаловедения и термической обработки металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519) 29-85-67.

Корчунов Алексей Георгиевич – д-р техн. наук, проф., проректор по международной деятельности ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический уни-

верситет им. Г.И. Носова». Тел.: 8 (3519) 29-84-09. E-mail: international@magtu.ru.

Корягин Юрий Дмитриевич – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой физического металловедения и физики твёрдого тела, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. Тел.: (351)2679013. E-mail: main@physmet.susu.ac.ru.

Кузбаков Жанаберген Иманкулович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Металлургия» Актобинского государственного университета им. К. Жубанова, г. Актобе, Казахстан. Тел.: (7132) 998578. E-mail: flora_karim@mail.ru.

Кузина Глафира Викторовна – ассистент, аспирант ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: Glafira-angel_89@mail.ru.

Кузьмин Сергей Львович – канд. техн. наук, декан горно-металлургического факультета Рудненского индустриального института, Республика Казахстан. E-mail: decan_2008@mail.ru.

Куликова Елизавета Анатольевна – студентка гр. ГВР-09 кафедры «Обогащение полезных ископаемых» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Курочкин Антон Иванович – аспирант кафедры ГМТТК ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519)29-85-20. E-mail: antoshey@mail.ru.

Кусков Виктор Николаевич – д-р техн. наук, проф. Тюменского государственного нефтегазового университета. Тел.: (3452) 417025. E-mail: vnkuskov@yandex.ru.

Латфуллин Руслан Равилевич – аспирант кафедры финансов и бухгалтерского учета ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 23-03-73. E-mail: rus_270188@mail.ru.

Мажитов Артур Маратович – аспирант кафедры подземной разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519)22-21-13. E-mail: artur.mazhitov@yandex.ru.

Малафеев Алексей Вячеславович – канд. техн. наук, доц. кафедры электроснабжения промышленных предприятий, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519)29-85-81. E-mail: Malapheev_av@mail.ru.

Маулянобаев Турсун Исхакжанович – канд. техн. наук, доц. кафедры металлургии и горного дела Рудненского индустриального института, Республика Казахстан. E-mail: matur@mail.ru.

Медведева Екатерина Михайловна – студентка гр. ТБ-09 ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Мельников Иван Тимофеевич – канд. техн. наук, доц. кафедры открытой разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519)298556. E-mail: werty71@mail.ru.

Мешкова Анна Ивановна – аспирантка кафедры материаловедения и термической обработки металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», лаборант Центральной лаборатории Контроля ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

Мешеряков Эдуард Юрьевич – канд. техн. наук, доц. кафедры подземной разработки месторождений полезных ископаемых, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519)22-21-13. E-mail: ntc@magtu.ru.

Мошкунев Владимир Викторович – инженер-технолог лаборатории непрерывной разливки стали ОАО «Магнито-

горский металлургический комбинат». Тел.: 8(3519)25-69-14. E-mail: moshkunov@inbox.ru.

Найзабеков Абдрахман Батырбекович – академик, д-р техн. наук, проф., ректор Рудненского индустриального института, Республика Казахстан. Тел.: +7 (71431) 5 07 03.

Никитенко Ольга Александровна – канд. техн. наук, ассистент кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519) 29-85-12.

Одер Дарья Евгеньевна – аспирантка кафедры стратегического планирования и экономической политики факультета государственного управления Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова. E-mail: daria.oder@gmail.com.

Окишев Константин Юрьевич – канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры физического металловедения и физики твёрдого тела, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. Тел.: (351)2679013. E-mail: okishev@physmet.susu.ac.ru.

Орехова Наталья Николаевна – канд. техн. наук, доц. кафедры «Обогащение полезных ископаемых» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519)29-85-55. E-mail: n_orехova@mail.ru.

Осадчий Виктор Иванович – канд. техн. наук, начальник технического отдела Краснооктябрьского бокситового рудоуправления АО «Алюминий Казахстана», Республика Казахстан. E-mail: osadchii@mail.ru.

Павлова Елена Витальевна – аспирант кафедры открытой разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519)298556. E-mail: pavlova-mgn@rambler.ru.

Петров Игорь Евгеньевич – инженер ОАО «Механоремонтный комплекс» ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

Погорелов Андрей Юрьевич – студент группы ГО- 10 кафедры открытой разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: andrey.p.-8831-@mail.ru.

Позин Андрей Евгеньевич – канд. техн. наук., начальник бюро ОАО «Механоремонтный комплекс» ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

Рыльникова Марина Владимировна – д-р техн. наук, проф., вед. научный сотрудник ИПКОН РАН, Москва.

Сафронов Александр Владимирович – аспирант Тюменского государственного нефтегазового университета. E-mail: alekss1987@bk.ru.

Славин Вячеслав Семенович – д-р техн. наук, проф. кафедры механического оборудования металлургических заводов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519) 387430. E-mail: slavin_v_s@list.ru.

Смяткин Алексей Николаевич – заместитель главного маркшейдера, Сибайский филиал ОАО «Учалинский ГОК», Республика Башкортостан, г. Сибай. Тел.: 8(34775)42189. E-mail: ANSmyatkin@sfugok.ru.

Снигирева Марина Викторовна – ст. преп. кафедры «Динамика и прочность машин» ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Созыкина Анна Сергеевна – ассист. кафедры физического металловедения и физики твёрдого тела, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. Тел.: (351)2679013. E-mail: main@physmet.susu.ac.ru.

Столяров Александр Михайлович – д-р техн. наук, проф. кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет

им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519)29-84-49. E-mail: mcm@magtu.ru.

Сычков Александр Борисович – д-р техн. наук, проф. кафедры материаловедения и термической обработки металлов, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» Тел.: 8 (3519) 29-85-67. E-mail: absyckov@mail.ru.

Талмазан Виталий Антонович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Обработка металлов давлением» Карагандинского государственного индустриального университета, Республика Казахстан. Тел.: +7 (701) 405 86 76.

Трильев Антон Евгеньевич – инженер ОАО «ИнЭкО», г.Челябинск. Тел.: (351) 265-55-04. E-mail: ineco@bk.ru.

Усманова Клара Фуадовна – д-р эконом. наук, проф., зав. кафедрой экономики и коммерции ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8 (3519) 23-03-75.

Черемисин Дмитрий Дмитриевич – инженер-конструктор 2 кат. расчетно-аналитической лаборатории МНЛЗ отдела научно-исследовательских работ ОАО «Уралмашзавод», г. Екатеринбург. Тел.: 8(3433)27-51-13. E-mail: L.Bulanov@uralmash.ru.

Чернова Татьяна Вячеславовна – канд. техн. наук, доц. кафедры «Динамика и прочность машин» ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Шадрина Полина Николаевна – мл. научный сотрудник Тюменского государственного нефтегазового университета. E-mail: polina-kolenchin@mail.ru.

Шевцов Николай Сергеевич – аспирант кафедры открытой разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519)298556. E-mail: shevcov.nikolay@gmail.com.

Юровский Николай Александрович – вед. науч. сотрудник, руководитель группы расчетно-аналитической лаборатории МНЛЗ отдела научно-исследовательских работ ОАО «Уралмашзавод», г. Екатеринбург. Тел.: 8(3433)27-51-13. E-mail: L.Bulanov@uralmash.ru.

Ягольникова Евгения Брисовна – ст. преп. кафедры электроснабжения промышленных предприятий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519)29-85-81. E-mail: yagolnikovaevgenia@inbox.ru.

THE INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Akshentsev Fedor Ivanovich – chief of bureau of work, salary and planning of the Sibai underground mine PLC «Uchalinsky GOK», Republic of Bashkortostan, city of Sibay. Phone: (34775) 2-20-06. E-mail: FIAkshencev@sfugok.ru.

Angelova Elena Ivanovna – mining engineer, post-graduate student of department of underground mining of SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». E-mail: Angelova.e@inbox.ru.

Anikina Valentina Ilyinichna – candidate of engineering science, associate Professor, Department of Metal Science and Heat Treatment of Metals, Federal State Autonomous Institution of Higher Professional Education «Siberian Federal University». Phone: (391) 291-25-61.

Belevskaya Irina Valeryevna – a post-graduate student of the applied mechanics department of FSEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: 8 (3519) 23 06 82. E-mail: belirena@yandex.ru.

Belevskiy Leonid Sergeevich – Doctor of Tech. Sci., professor of the applied mechanics department of FSEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: 8 (3519) 09 76 79. E-mail: l.belevskiy@mail.ru.

Bigeev Vahit Abdrashitovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the faculty of Metallurgy of ferrous metals, FSEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: 8 (3519) -29-85-59. E-mail: v.bigeev11 @ yandex.ru.

Bikbaeva Gulnara Amantaevna – graduate student «The Chair of mineral processing» FSBEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: 8(3519)48-92-04. E-mail: GulnaraBiKbaeva@yandex.ru.

Brichko Aleksandr Gennadievich – postgraduate student of the department of Machine and metal forming technology FSBEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: 8(3519) 29-84-36. E-mail: 9121950@mail.ru.

Bulanov Leonid Vladimirovich – candidate of technical science, manager design-analytical CCM laboratory, department scientific information work «Uralmashplant» JSC, city Yekaterinburg. Phone: 8(3433)27-51-13. E-mail: L.Bulanov@uralmash.ru.

Cheremisin Dmitriy Dmitrievich – development engineer second category, design-analytical CCM laboratory, department scientific information work «Uralmashplant» JSC, city Yekaterinburg. Phone: 8(3433)27-51-13. E-mail: L.Bulanov@uralmash.ru.

Chernova Tatyana Vyacheslavovna – Candidate of Technical Sciences, docent of Department Dynamics and strength of machines, Perm National Research Polytechnic University.

Dzyuba Anton Yurievich – head of the laboratory rolled bars and coils JSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works». E-mail: dzyuba.ay@mmk.ru.

Efimova Yliya Yurevna – candidate of technical sciences, docent of the department metallurgy and machine technology of FSEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: 8 (3519) 29 84 81. E-mail: jefimova78@mail.ru.

Emelianenko Elena Alekseevna – candidate of technical sciences, associate professor of the department geology, mineralogy, petrology and surveyor cases of SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: 8(3519) 29-85-40.

Golubchik Eduard Mikhailovich – Candidate of technical sciences, assistant professor chair of mechanical engineering and metallurgical technologies, Federal State Educational Estab-

lishment of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: 8(3519) 29-85-67. E-mail: golub66@mail.ru;

Ivanov Evgeny Vladimirovich – senior lecturer, Department of Metal Forming, Federal State Autonomous Institution of Higher Professional Education «Siberian Federal University». Phone: (391) 206-37-31.

Ivin Yuri Aleksandrovich – head of the laboratory of electric steelmaking production of JSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works». Phone: 8(3519)25-45-51. E-mail: ivin.ya@mmk.ru.

Kalugina Olga Borisovna – senior lecturer of «Information technology» department at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: 29-84-78. E-mail: kalugina.olga@bk.ru.

Kazakov Alexander Sergeevich – candidate of technical science, senior expert of the Continuous Steel Casting Laboratory, Central Laboratory, OJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works». Phone: 8(3519)25-32-87. E-mail: kazakov.as@mmk.ru.

Kolenchin Nikolay Philippovich – Candidate of Technical Sciences, Deputy Rector of Tyumen State Oil and Gaz University. Phone (3452) 256976. E-mail: kolenchin @ tsogu.ru.

Kolmogorov German Leonidovich – Doctor of Technical Sciences, professor, valid member of RANS, the head of Department Dynamics and strength of machines, Perm National Research Polytechnic University. Phone: 8 (342) 239-13-40. E-mail: dpm@pstu.ru.

Koptseva Natalia Vasilyevna – Doctor of Technical Science, assistant professor chair of Materials Science and heat treatment of metals, Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: 8(3519) 29-85-67.

Korchunov Alexei Georgievich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for International Relations, FSEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: 8 (3519) 29-84-09. E-mail: international@magtu.ru.

Koryagin Yuri Dmitrievich – doctor of engineering science, professor, head of the Physical Metallurgy and Solid State Physics Department, Southern Ural State University, Chelyabinsk. Phone: (351)2679013. E-mail: main@phymet.susu.ac.ru.

Kovaleva Angelna Adolfovna – candidate of engineering science, associate Professor, Department of Metal Science and Heat Treatment of Metals, Federal State Autonomous Institution of Higher Professional Education «Siberian Federal University». Phone: (391) 291-25-61.

Kulikova Elizaveta Anatolievna – student «The Chair of mineral processing» FSBEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov».

Kurochkin Anton Ivanovich – the post-graduate student of chair GMiTTK FSEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: 29-85-20. E-mail: antoshey@mail.ru.

Kuskov Viktor Nikolaevich – Doctor of Technical Sciences, Professor of Tyumen State Oil and Gaz University. Phone: (3452) 417025. E-mail: vnkuskov@yandex.ru.

Kuzbakov Zhanabergen Imankulovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of «Metallurgy» Aktobe State University named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan. Phone: (7132) 998578. E-mail: flora_karim@mail.ru.

Kuzina Glafira Viktorovna – assistant, graduate of Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosova. E-mail: Glafira-angel_89@mail.ru.

Kuzmin Sergei Lvovich – PhD, Dean of the Faculty of Mining and Metallurgy of Rudny Industrial Institute, Kazakhstan. E-mail: decan_2008@mail.ru.

Latfullin Ruslan Ravilevich – post-graduate student of the Finance and Accounting Department of the FSEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: 23-03-73. E-mail: rus_270188@mail.ru.

Malafeev Alexey Vyacheslavovich – Candidate of Technical Sciences, the associate professor, the associate professor of power supply of the industrial enterprises, FSEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov», Phone: 29-85-81, Malapheev_av@mail.ru.

Maulyanbaev Tursun Iskhakdzhanovich – Ph.D., Associate Professor, Professor of the department of Metallurgy and Mining of Rudny Industrial Institute, Kazakhstan. E-mail: matur@mail.ru.

Mazhitov Artur Maratovich – post-graduate student of the department of underground mining of deposits of minerals of the FSEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519)29-85-34. E-mail: artur.mazhitov@yandex.ru

Medvedeva Ekaterina Mikhailovna – student of group TB-09, State Educational Establishment of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov».

Melnikov Ivan Timofeevich – Candidate of technical sciences, assistant professor of the department «Open working exploitation of mineral» SEA (State Education Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (8-3519) 29-85-56. E-mail: werty71@mail.ru.

Mescheryakov Eyduard Jurevich – Cand. Tech. Sci., the senior lecturer of the department of underground mining of deposits of minerals of the FSEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519)22-21-13. E-mail: ntc@magtu.ru.

Meshkova Anna Ivanovna – laboratory assistant of the Central Laboratory of Control «Magnitogorsk Iron and Steel Works», post-graduate student of Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov».

Moshkunov Vladimir Victorovich – planner of the Continuous Steel Casting Laboratory, Central Laboratory, OJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works». Phone: 8(3519)25-69-14. E-mail: moshkunov@inbox.ru.

Naizabekov Abdrahman Batyrbekovich – the academician, dr.sci.tech., the professor, rector of Rudnensky industrial institute. Phone: 8(71431) 5 07 03.

Nikitenko Olga Alexandrovna – Candidate of technical sciences, assistant chair of mechanical engineering and metallurgical technologies, Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov».

Oder Daria Evgenyevna – post-graduate student of the Chair of strategic planning and economic policy of the School of Public Administration of Moscow State University named after M.V. Lomonosov. E-mail: daria.oder@gmail.com.

Okishev Konstantin Yurievich – candidate of physical and mathematical science, associate professor of the Physical Metallurgy and Solid State Physics Department, Southern Ural State University, Chelyabinsk. Phone: (351)2679013. E-mail: okishev@physmet.susu.ac.ru.

Orehova Nataliya Nikolaevna – candidate of technical Sciences, associate professor «The Chair of mineral processing» Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov. Phone: 8(3519) 29-85-55. E-mail: n_orehova@mail.ru.

Osadchy Viktor Ivanovich – Ph.D., Head of Technical Department Krasnooktyabrskiy bauxite ore of JSC «Kazakhstan Aluminium», Kazakhstan. E-mail: osadchii@mail.ru.

Pavlova Elena Vitalevna – assistant of the department «Open working exploitation of mineral» SEA (State Education Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (8-3519) 29-85-56. E-mail: pavlova-mgn@rambler.ru.

Petrov Igor Evgenievich – the Engineer of CJSC «Mekchanoremontny Complex».

Pogorelov Andrew Yurevich – student of the department «Open working exploitation of mineral» SEA (State Education Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». E-mail: andrey.p.-8831-@mail.ru.

Pozin Andrey Evgenievich – Candidate of Technical Sciences, the Engineer of CJSC «Mekchanoremontny Complex».

Rylnikova Marina Vladimirovna – Doctor of Technical Sciences, Professor, Senior Research Fellow «of the Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of the Russian Academy of Sciences», Moscow.

Safonov Aleksandr Vladimirovich – post-graduate of Tyumen State Oil and Gas University. E-mail: alekss1987@bk.ru.

Shadrina Polina Nikolaevna – junior scientist of Tyumen State Oil and Gas University. E-mail: polina-kolenchin@mail.ru.

Shevtsov Nikolai Sergeevich – postgraduate student of the department «Open working exploitation of mineral» SEA (State Education Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (8-3519) 29-85-56. E-mail: shevcov.nikolay@gmail.com.

Slavin Vyacheslav Semyonovich – Doctor of Technical Science, professor of the Metallurgical plants mechanical equipment department, FSBEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: 8(3519) 387430. E-mail: slavin_v_s@list.ru.

Smyatkin Alexei Nicolaevich – deputy surveyor Open Joint stock Company «Sibai Mining», Republic of Bashkortostan, Sibai. Phone: 8 (34775) 42189. E-mail: ANSmyatkin@sfgok.ru.

Snigireva Marina Viktorovna – senior Lecturer of Department Dynamics and strength of machines Perm National Research Polytechnic University.

Sozykina Anna Sergeevna – assistant of the Physical Metallurgy and Solid State Physics Department, Southern Ural State University, Chelyabinsk. Phone: (351)2679013. E-mail: main@physmet.susu.ac.ru.

Stolyarov Alexander Mihajlovich – doctor of technical science, professor, the professor of chair of metallurgy of ferrous metals (City educational institution, higher vocational training), FSEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: 8(3519)29-84-49. E-mail: mcm@magtu.ru.

Sychkov Alexander Borisovich – Doctor of Technical Sciences, professor of materials science and heat treatment of metals, FSEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: 8 (3519) 29-85-67. E-mail: absychkov@mail.ru.

Talmazan Vitaly Antonovich – cand.tech.sci, the senior lecturer chair «Plastic metal working», the Karaganda state industrial university. Phone: 8(701) 405 86 76.

Trilyev Anton Evgenievich – engineer PLC «InEcO» Russia, city of Chelyabinsk. Phone: (351) 265-55-04. E-mail: ineco@bk.ru.

Usmanova Clara Fyadovna – doctor of economic Sciences, Professor, head of Department of Economy and Commerce of Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosova, Phone: 8(3519)23-03-75.

Vagin Vladimir Sergeevich – Cand.Tech.Sci., the senior lecturer, the professor of chair GMITTK FSEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: 29-85-20. E-mail: antoshey@mail.ru.

Vasileva Nadezhda Fedorovna – candidate of science, associate Professor of the Finance and Accounting Department of the FSEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: 23-03-73. E-mail: nfvasilyeva@mail.ru.

Vdovin Konstantin Nikolaevich – Doctor of Technical Science, professor, the head of the Chair of EM and CP FSBEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: 8(3519)298419. E-mail: Vdovin@magtu.ru.

Yagolnikova Evgenia Brisovna – the senior teacher of chair of power supply of the industrial enterprises, FSEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: 29-85-81. E-mail: yagolnikovaevgenia@inbox.ru.

Yerzhanov Almas Satybaldyevich – the higher teacher chair «Plastic metal working», the Karaganda state industrial university. Phone: 8(701) 239 42 97. E-mail: kaf-omd@mail.ru.

Yurovskiy Nikolai Anatolievich – senior scientific officer, team manager design-analytical CCM laboratory, department scientific information work «Uralmashplant» JSC, city Yekaterinburg. Phone: 8(3433)27-51-13. E-mail: L.Bulanov@uralmash.ru.

Zagirov Nikolay Nailiyich – candidate of engineering science, associate Professor, Department of Metal Forming, Federal State Autonomous Institution of Higher Professional Education «Siberian Federal University». Phone: (391) 206-37-31. E-mail: sbs270359@yandex.ru.

Zaitsev Gregory Sergeevich – a graduate student, Department of Metallurgy of ferrous metals, FSEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». E-mail: kroll676@rambler.ru.

Zalyadnov Vadim Yurevich – Candidate of technical sciences, assistant professor of the department «Open working exploitation of mineral» SEA (State Education Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (8-3519) 29-85-56. E-mail: zalyadnov@mail.ru.

Zaslavets Boris Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, the professor of chair of power supply of the industrial enterprises, FSEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: 29-84-79. E-mail: B_Zaslavets@mail.ru.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Мы приглашаем Вас к участию в нашем журнале в качестве авторов, рекламодателей и читателей. Журнал формируется по разделам, отражающим основные направления научной деятельности ученых МГТУ, в частности:

- РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.
- МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ.
- ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ.
- ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО
- ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ.
- МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ.
- СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ.
- МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.
- НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ.
- ЭНЕРГЕТИКА МЕТАЛЛУРГИИ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ.
- УПРАВЛЕНИЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ.
- СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ.
- ЭКОЛОГИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ.
- ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И РЫНОК ПРОДУКЦИИ.
- СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ, ПОДГОТОВКА И ОБУЧЕНИЕ СПЕЦИАЛИСТОВ.
- ИНФОРМАЦИЯ И ДР.

Раздел «Новые исследования» или «Краткие сообщения» предназначен для оперативной публикации работ преимущественно аспирантов. В журнал входят учебно-методический и библиографический разделы. Общее количество разделов и их объем может варьироваться от номера к номеру.

ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ, ПРИНИМАЕМЫМ К ПУБЛИКАЦИИ

I. Рекомендуемый объем статьи – не более 6–8 стр.

К статье прилагаются:

- 1) экспертное заключение о возможности опубликования;
- 2) рецензия;
- 3) сведения об авторах (на английском и русском языках): фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание и должность, полное название учреждения, направление исследований, контактный телефон и E-mail каждого автора (всё перечислить в одном абзаце);
- 4) аннотацию на английском и русском языках (аннотация должна содержать актуальность, постановку проблемы и пути решения проблемы; необходимо избегать лишних деталей и конкретных цифр; количество слов – 50-100);
- 5) список литературы на английском и русском языках;
- 6) ключевые слова на английском и русском языках.

II. Текст статьи, сведения об авторах, реферат, список литературы и ключевые слова представляются на электронном носителе в виде файла, созданного средствами **Microsoft Word**, и распечаткой на стандартных листах бумаги формата A4.

При наборе статьи в **Microsoft Word** рекомендуются следующие установки:

- 1) **шрифт** – **Times New Roman**, размер – 14 пт, межстрочный интервал – одинарный, перенос слов – автоматический;
- 2) при вставке **формул** использовать встроенный редактор формул **Microsoft Equation** со стандартными установками;
- 3) **рисунки и фотографии**, вставленные в документ, должны быть четко выполнены, допускать перемещение в тексте и возможность изменения размеров (толщины линий и размеры обозначений должны обеспечивать четкость при уменьшении рисунка до рациональных размеров). Рисунки предоставлять в виде распечатки на стандартных листах бумаги формата A4 и отдельным файлом в формате *.TIF, *.JPG, с разрешением **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 надписи в местах размещения рисунков. Например:

Рис. 4. Расчётная зависимость $\gamma(t)=I_m/I_{n0}$
от времени и удалённости КЗ от выводов
асинхронного двигателя

Внимание! Публикация статей является бесплатной. Преимущество опубликования представляется авторам и учреждениям, оформившим подписку на журнал.

Статьи проходят обязательное научное рецензирование.

Редакция оставляет за собой право отклонять статьи, не отвечающие указанным требованиям.

По вопросам публикации статей обращаться: 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. Магнитогорский государственный технический университет, Редколлегия журнала «Вестник МГТУ» М. Чукину.

Телефоны: (3519) 29-85-26, 22-14-93.

E-mail: rio_mgtu@mail.ru; vestnik@magtu.ru (с указанием темы сообщения «Вестник МГТУ»).