

ВЕСТНИК

Магнитогорского государственного
технического университета им. Г. И. Носова

№2 (46) июнь 2014 г.

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

Издается с марта 2003 года

Редакционный совет

Председатель редсовета:

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

Члены редсовета:

А.В. Дуб – ген. директор ОАО НПО

«ЦНИИТМАШ», д-р техн. наук;

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

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

В.М. Счастливцев – зав. лабораторией ИФМ

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

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

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

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

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

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

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

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

Главный редактор:

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

Первый зам. главного редактора:

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

Зам. главного редактора:

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

Ответственные секретари:

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

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

Редактор: Н.В. Кутекина.

Технический редактор: Г.Н. Лапина.

Перевод с английского: Ю.А. Пуртов.

© ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2014

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

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

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

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

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

Учредитель – Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова.

(455000, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, д. 38).

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

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, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38.

Отпечатан на полиграфическом участке МГТУ им. Г.И. Носова,

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38.

Выход в свет 25.06.2014. Заказ 287. Тираж 500 экз. Цена свободная.

VESTNIK

of Nosov Magnitogorsk State Technical University

No. 2 (46) June 2014

The journal is included in a List of Russian peer-reviewed scientific journals where key scientific results of dissertations for degrees of a doctor and a candidate of sciences should be published, and incorporated into databases of the Russian Science Citation Index (RSCI) and the All-Russian Institute of Scientific and Technical Information. Online versions of the journal can be found in the Scientific Electronic Library collection on the Internet.

PUBLISHED SINCE MARCH, 2003

Editorial Board Members

Chairman:

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

Honorary Board Members:

A.V. Dub – D.Sc., General Director of OJSC Research and Production Association Central Research Institute for Engineering Technology (NPO TsNIITMASH).

D.R. Kaplunov – D.Sc., Prof., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences.

V.F. Rashnikov – D.Sc., Prof., President of LLC MMK Managing Company.

V.M. Schastlivtsev – D. Sc., Chief of the Laboratory, Institute of Metal Physics, Ural Division of the Russian Academy of Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences.

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

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

I. Goralach – Ph.D., Head of Mechatronics Department, Nelson Mandela Metropolitan University, South Africa.

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

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

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

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

Editor-in-Chief:

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

First Deputy Editor-in-Chief:

G.S. Gun – D. Sc., Prof., Adviser to the Rector, Nosov Magnitogorsk State Technical University.

Deputy Editor-in-Chief:

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

Executive Editors:

M.A. Polyakova – Ph.D., Assoc. Prof., Nosov Magnitogorsk State Technical University.

M.V. Shubina – Ph.D., Assoc. Prof., Nosov Magnitogorsk State Technical University.

Editor: N.V. Kutekina.

Technical Editor: G.N. Lapina.

Translated from English: Yu.A. Purtov.

© Federal State Budgetary Institution of Higher Professional Education
Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2014

Registration certificate PI # FS11-1157 dated April 18, 2007

Issued by the Administration of the Federal Service for Media Law Compliance and Cultural Heritage in the Urals Federal District.

Founder – Nosov Magnitogorsk State Technical University
(38, pr. Lenina, Magnitogorsk 455000, Chelyabinsk Region.)

16+ in accordance with Federal Law #436-FZ dated 29.12.10

Editorial office:

38, pr. Lenina, city of Magnitogorsk 455000, Russia
Tel.: +7 (3519) 221 493. Fax: +7 (3519) 235 760
URL: <http://www.vestnik.mgtu.ru>
E-mail: rio_mgtu@mail.ru; vestnik@mgtu.ru

Prepared for the publication by the NMSTU publishing center,
38, pr. Lenina, city of Magnitogorsk 455000, Russia
Printed by the NMSTU printing section,
38, pr. Lenina, city of Magnitogorsk 455000, Russia.
Publication date: 25.06.2014. Order 287. Circulation: 500. Open price.

СОДЕРЖАНИЕ

Разработка полезных ископаемых	5
<i>Стаценко Л.Г., Брановец Н.Е.</i>	
Разработка модуля «Усреднительный склад» информационной системы стабилизации качества полезного ископаемого в карьере.....	5
<i>Каримова Л.М.</i> Комбинированный метод переработки забалансовой медной сульфидной руды	
	11
Технологии переработки и утилизации техногенных образований и отходов	16
<i>Ворошилова М.В., Коростовенко В.В., Степанов А.Г., Галайко А.В.</i> Биоиндикация изменения качества воды реки Ангара при разрядно-импульсной обработке промстоков обогатительного производства.....	
	16
<i>Субботин В.В., Петухов В.Н.</i>	
Исследование влияния эффективности действия флокулянтов при обогащении угольного шлама	20
Литейное производство	25
<i>Смолко В.А., Антошкина Е.Г.</i>	
Феноменологические химико-структурные превращения в синтетических песчаных смесях	25
Обработка металлов давлением	30
<i>Румянцев М.И., Шубин И.Г., Горбунов А.В., Лукьянов С.А., Митасов В.С., Насонов В.В., Егоров В.Н.</i> Оценка причин и разработка мероприятий для преодоления неустойчивости холодной прокатки на непрерывном стане 2000 ОАО «ММК».....	
	30
<i>Курмачев Ю.Ф., Соколов Р.Е., Высотина А.А.</i>	
Расчет продольного профиля зоны обжатия при холодной периодической прокатке труб из алюминиевых сплавов.....	36
<i>Трофимов В.Н., Кузнецова Т.В., Панин Ю.В., Шардин А.А.</i> Напряжение волочения сплошных профилей прямоугольного сечения	
	40
Материаловедение и термическая обработка металлов. Свойства материалов.....	45
<i>Пашинский В.В., Субботина М.Г.</i>	
Разработка метода сравнительной оценки свойств твердых сплавов по диаграмме внедрения пирамиды Берковича.....	45
<i>Громов В.Е., Иванов Ю.Ф., Романов Д.А., Будовских Е.А., Ващук Е.С., Денисова Ю.А., Коновалов С.В., Тересов А.Д., Филимонов С.Ю.</i> Структура и микротвердость углеродистой стали 45 после электроэрозивного меднения и последующей электронно-пучковой обработки	
	51

CONTENTS

Mining and Mineral Processing	5
<i>Statsenko L.G., Branovets N.E.</i> The "Blending Stockyard" Module Development for Information System Stabilization Quality of Minerals in the Quarry	
	5
<i>Karimova L.M.</i> Combined Method of Processing the Off-balance Copper Sulphide Ore	
	11
Processing and Utilization Technologies for Technogenic Formations and Wastes.....	16
<i>Voroshilova M.V., Korostovenko V.V., Stepanov A.G., Galaiko A.V.</i> Bioindication of Changes in Water Quality of the Angara River at Discharge Pulse Processing of Effluents from Beneficiation Facilities.....	
	16
<i>Subbotin V.V., Petukhov V.N.</i>	
Study of the Influence of Flocculants Performance by the Enrichment of Coal Slurry	20
Foundry Engineering	25
<i>Smolko V.A., Antoshkina E.G.</i>	
Phenomenological Chemical and Structural Transformations in Synthetic Sand Mixtures	25
Metal Forming.....	30
<i>Rumyantsev M.I., Shubin I.G., Mitsov V.S., Egorov V.N., Gorbunov A.V., Lukyanov S.A., Nasonov V.V.</i> Assessment of Causes and Development of Measures for Overcoming the Cold Rolling Instability on Continuous Mill 2000 of OJSC MMK	
	30
<i>Kurmachev Yu.F., Sokolov R.E., Vysotina A.A.</i>	
Calculation of the Longitudinal Profile of the Reduction Zone during Periodic Cold Rolling of Aluminum Alloy Tubes	36
<i>Trofimov V. N., Kuznetsova T.V., Panin Yu.V., Shardin A.A.</i>	
Drawing Force of Solid Rectangular Section Profiles	40
Materials Science and Heat Treatment of Metals. Material Properties.....	45
<i>Pashinsky V.V., Subbotina M.G.</i> Method Development for Comparative Assessment of Carbide Alloys Properties Using the Berkovich Load-Displacement Curve.....	
	45
<i>Gromov V.E., Ivanov Yu.F., Romanov D.A., Budovskikh E.A., Vashchuk E.S., Denisova Yu.A., Kononov S.V., Teresov A.D., Filimonov S. Yu.</i> Peculiarities of Electroexplosive Copper Plating of Steel 45 and Subsequent Electron-Beam Processing	
	51

Стандартизация, сертификация и управление качеством.....	63	Standardization, Certification and Quality Management	63
<i>Леушин И.О., Нищёнков А.В., Чистяков Д.Г.</i> Оценка целесообразности совершенствования технологии изготовления деталей чугуновых стеклоформ методами многокритериальной экспертной оценки	63	<i>Leushin I.O., Nishchenkov A.V., Chistyakov D.G.</i> Expediency Assessment of Improvement of the Technology of Manufacturing the Cast-Iron Glass Mold Details by Multicriterial Expert Evaluation Methods	63
Транспорт и транспортные системы	69	Transport and Transport Systems	69
<i>Арефьев С.А.</i> Определение основных параметров колесных бульдозеров, используемых на горных предприятиях	69	<i>Arefiev S.A.</i> Determination of the Basic Parameters of Wheel Dozers Used in Mining Enterprises.....	69
Экономика, управление и рынок продукции	74	Economics, Management and Product Market	74
<i>Усманова К.Ф., Горохова О.В.</i> Разработка системы показателей развития и конкурентоспособности субъектов малого предпринимательства на рынке сферы услуг	74	<i>Usmanova K.F., Gorokhova O.V.</i> Creating the System of Development and Competitiveness Indicators for Small Business Entities in the Services Market	74
<i>Одер Д.Е.</i> Стратегическое планирование человеческого потенциала и социального капитала	77	<i>Oder D.E.</i> Strategic Planning of Human Potential and Social Capital	77
Подготовка кадров. Обучение.....	82	Training.....	82
<i>Пономарева О.С., Майорова Т.В.</i> Формирование готовности студентов технических вузов к профессиональной адаптации	82	<i>Ponomareva O.S., Maiorova T.V.</i> Forming of Technical University Students' Readiness for Vocational Adjustment.....	82
Сведения об авторах	88	Information about authors	88

РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 681.142.2:622.271.3

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ «УСРЕДНИТЕЛЬНЫЙ СКЛАД» ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ КАЧЕСТВА ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО В КАРЬЕРЕ

Стаценко Л.Г., Брановец Н.Е.

Рудненский индустриальный институт, Казахстан

Аннотация. Описана информационная система для формирования эффективных технологических схем горных работ в карьере, обеспечивающих требуемое качество руды, подаваемой на обогащение. Модуль «Усреднительный склад» обеспечивает оптимальный порядок заполнения и разгрузки усреднительного склада. Используются методы имитационного моделирования и математического программирования.

Ключевые слова: усреднение руд, усреднительный склад, имитационная модель.

Усреднение как необходимый комплекс мероприятий при разработке месторождений открытым способом

Усреднение качества полезных ископаемых – это совокупность технологических и организационных мероприятий, проводимых с целью обеспечения необходимого постоянства качества твёрдых полезных ископаемых в процессе их добычи и первичной переработки [1].

Усреднению подвергают руды чёрных и цветных металлов, горно-химическое сырьё, ископаемые угли и другие полезные ископаемые. Необходимость усреднения качества возникает при существенной изменчивости показателей качества полезных ископаемых, поступающих на переработку, т.к. их нестабильность отрицательно влияет на технологию переработки и её экологические последствия. При переработке неоднородных по качеству полезных ископаемых снижаются извлечение полезных компонентов и выход конечной продукции, возрастают потери и материально-трудовые затраты. Так, уменьшение колебания железа в рудной шихте на 1% дает прирост производительности доменных печей на 4-6%, позволяет уменьшить расход кокса на 3% и известняка на 6-8%. Значительно улучшаются показатели металлургических заводов при плавке металлов из однородных руд и т.д. Поэтому обеспечение стабильности добываемого полезного ископае-

мого является одним из основных промышленных требований к его качеству [2].

Проблемы усреднения руд широко исследованы в трудах зарубежных и российских ученых и специалистов [3-7].

Усреднение качества включает в себя как технологические мероприятия горного производства, обеспечивающие благоприятные условия для смешивания, и усреднение качества в процессе добычи (изменения системы разработки и её параметров, средств механизации, общей технологии, схемы добычи и первичной переработки полезных ископаемых), так и организационно-управляющие действия. Начинается процесс усреднения качества с перспективного и текущего планирования горных работ и продолжается при оперативном управлении. При планировании в соответствии с плановыми объёмами и качеством полезных ископаемых устанавливают направление развития горных работ и конкретные участки и блоки месторождения, подлежащие отработке в планируемые календарные сроки (вплоть до суточных и сменных). На втором этапе оперативного управления регулируется нагрузка на забои в зависимости от достигнутого объёма и качества полезных ископаемых в участковых и общерудничных грузопотоках и фактического качества руды в забоях. Третьей фазой усреднительного процесса осуществляется в процессе формирования транспортных потоков, обеспечивающих необходимое

смешивание полезных ископаемых в участковых и общерудничном звеньях. Четвертый и наиболее эффективный этап – перегрузка руд на внутрикарьерных складах, аккумулятивное полезных ископаемых в рудопусках, камерах околоствольного двора, а также в бункерах и штабелях на поверхности.

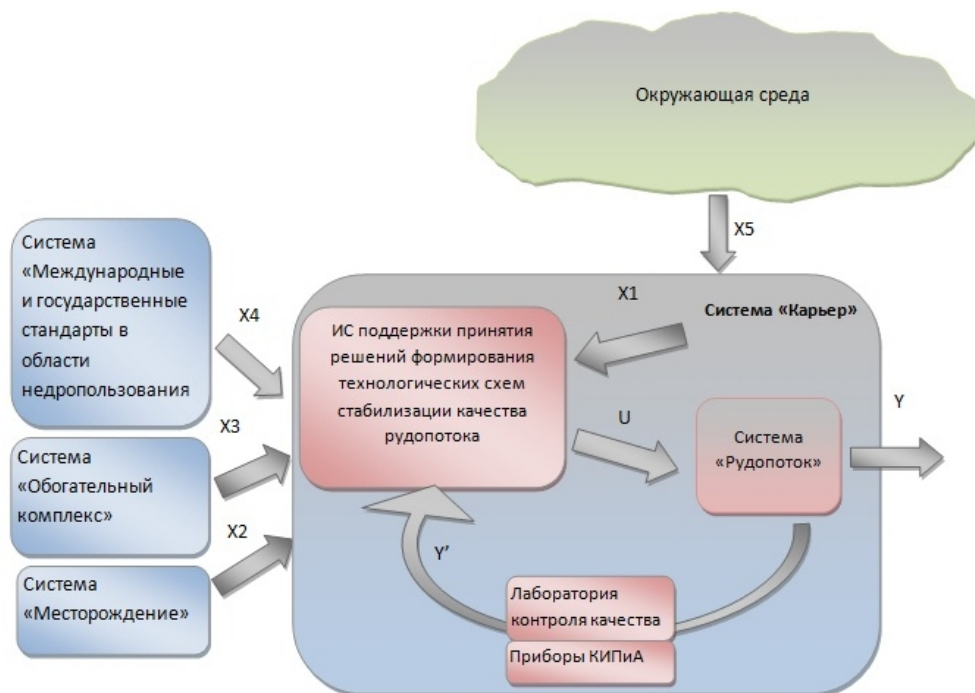
Для планирования и оперативного управления горными работами в карьерах в режиме усреднения, как правило, используются математические методы исследования операций – имитационное моделирование, линейное и нелинейное программирование, статистические методы и др. При этом устанавливают наиболее вероятную картину распределения во времени качества полезных ископаемых по забоям, исходя из чего определяют объёмы добычи из каждого забоя и соответственно количество погрузочных и доставочных средств, резервные забои и оборудование.

Информационная система стабилизации качества полезного ископаемого в карьере

Целью данного исследования является разработка информационной системы поддержки принятия решений формирования эффективных технологических схем стабилизации качества рудопотока в карьере посредством оптимизации технологических схем выемки, транспортных потоков и технологии усреднения на складах, проводимая в рамках гранта МОН РК, выполняемого по бюджетной программе 055 «Научная и/или научно-техническая деятельность» (№ госрегистрации 0112РК02423).

Информационная система представляет собой интегрированное решение, обеспечивающие планирование и оперативное управление на всех четырех стадиях усреднения.

Система управления качеством рудопотока может быть описана в рамках кибернетического подхода теории систем (рис. 1).

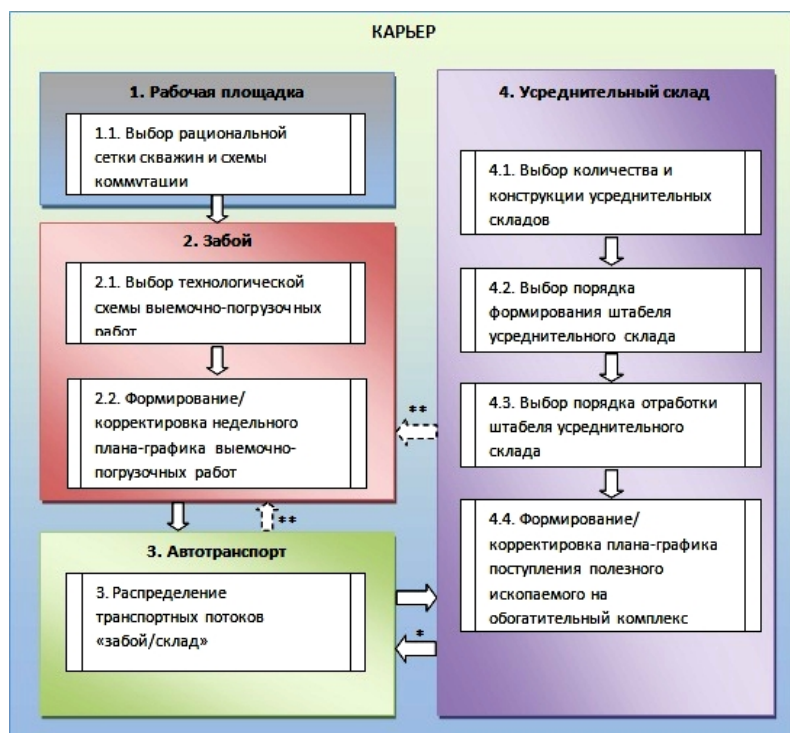


- X1** – параметры карьера: производственная мощность, способ разработки, технологические схемы отработки, горнотранспортная система;
X2 – параметры обогатительного комплекса: требуемое качество и объем рудопотока;
X3 – горно-геологические параметры месторождения: условия залегания, тип оруденения, минимальное промышленное содержание, запасы;
X4 – нормативные требования ограничений, накладываемых законодательством на параметры горных работ;
X5 – климатические и горно-геологические условия;
U – технологические схемы и параметры усреднения;
Y – параметры рудопотока на выходе из карьера;
Y' – «Обратная связь», обеспечиваемая контролем параметров рудопотока лабораторией и приборами

Рис. 1. Кибернетическое описание ИС управления качеством рудопотоков

Модульная структура информационной системы

Анализ способов усреднения и задач оперативного планирования и управления горнодобывающих предприятий позволил выделить четыре взаимосвязанных модуля системы, осуществляющих моделирование всего цикла добычи полезного ископаемого до момента подачи на обогащение: планирование развития горных работ – модуль «Рабочая площадка», выемка и погрузка – модуль «Забой», транспортировка – модуль «Автотранспорт» и складирование – модуль «Усреднительный склад» (рис. 2).



* Корректировка выполняется в случае невозможности достижения требуемого уровня стабилизации качества модулем «Усреднительный склад»

** Корректировка выполняется в случае невозможности достижения требуемого уровня стабилизации качества модулями «Усреднительный склад» и «Автотранспорт»

Рис. 2. Укрупненная модульно-функциональная структура информационной системы принятия решений формирования технологических схем стабилизации качества рудопотока

Модуль «Усреднительный склад»

Каждый модуль соответствует одному из этапов усреднения. Если результат на конечном этапе не достигнут – руда на выходе склада не соответствует требованиям обогатительного комплекса, то происходит возврат на предыдущий этап и моделирование повторяется, пока не будет получен рудопоток требуемого качества.

В данной статье рассмотрено алгоритмическое решение задачи усреднения на внутрикарьерном складе, реализованное в программном модуле «Усреднительный склад».

Предложена технология загрузки склада, которая позволяет оперативно распределять прибывающие для разгрузки автосамосвалы по зонам склада, так чтобы обеспечить наименьшее отклонение в отгружаемых порциях от планового качества руды.

Склад представлен в виде двумерного массива. В качестве входных параметров модели используются его геометрические параметры – ширина, длина, высота, а также плановое значение качества руды на выходе склада:

- W – ширина склада (м);
- L – длина склада (м);
- H – высота склада (м);
- P_o – плотность руды (т/м^3);
- $Plan$ – плановое значение качества руды, (%).

Алгоритм модели:

1. Задаются геометрические параметры усреднительного штабеля, плановое значение усредняемого компонента на выходе склада, параметры транспорта.

2. Генерируется значение качества руды во вновь прибывающем на склад автосамосвале: Sam – значение качества в прибывшем самосвале (%).

3. В зависимости от заданной величины ширины склада случайным образом заполняется первая строка таблицы зон (отсыпается первый слой штабеля).

4. Для каждой зоны определяется среднее значение ее слоев и их количество (средние значения по столбцам (зонам) выводятся в следующей строке таблицы: $SrZnach$ (%)).

5. Для каждого прибывающего автосамосвала определяется отклонение планового значения от значения качества прибывшего самосвала по формуле

$$PlanOtkl = Plan - Sam (\%). \quad (1)$$

Отклонение планового значения качества от среднего значения по зонам вычисляется по формуле

$$StOtkl = Plan - SrZnach (\%). \quad (2)$$

Условие вхождения зоны в поле альтернатив для возможной разгрузки определяется следующим образом:

– если среди отклонений по зонам нет значений, удовлетворяющих условию: отклонение значения качества руды в самосвале от плана > 0 и отклонение среднего качества по зонам от плана < 0 или отклонение значения качества руды в самосвале от плана < 0 и отклонение среднего качества по зонам от плана > 0 , то среди имеющихся значений находим минимальное абсолютное значение: $\min$ и координаты зоны минимального элемента: $NSloy$ – координата строки, $NZona$ – координата столбца;

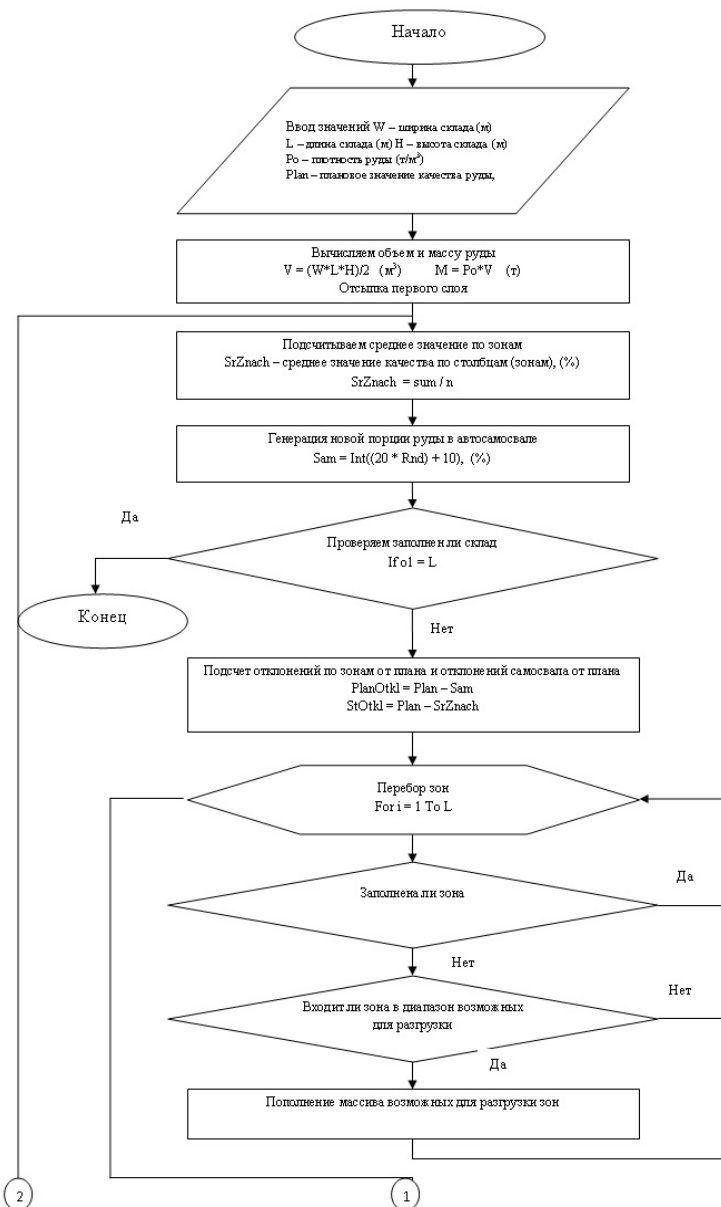
– если среди отклонений по зонам есть значения, удовлетворяющие условию: если отклонение значения качества руды в самосвале от плана > 0 и отклонение среднего качества по зонам от плана < 0 или отклонение значения качества руды в самосвале от плана < 0 и отклонение среднего качества по зонам от плана > 0 , то

среди имеющихся значений находим максимальное абсолютное значение: $\max$ и координаты зоны максимального элемента: $NSloy$ – координата строки, $NZona$ – координата столбца.

Следующий самосвал разгружается на складе согласно полученным выше координатам, после чего производится пересчет средних значений качества по зонам, количества слоев в зонах, величин отклонений.

Далее действия повторяются с момента генерации нового значения качества пришедшего на склад самосвала. Условием выхода из алгоритма является полное заполнение склада.

Программная реализация приведенного на рис. 3 и описанного выше алгоритма позволяет формировать оптимальную последовательность разгрузки автосамосвалов в зонах усреднительного склада.



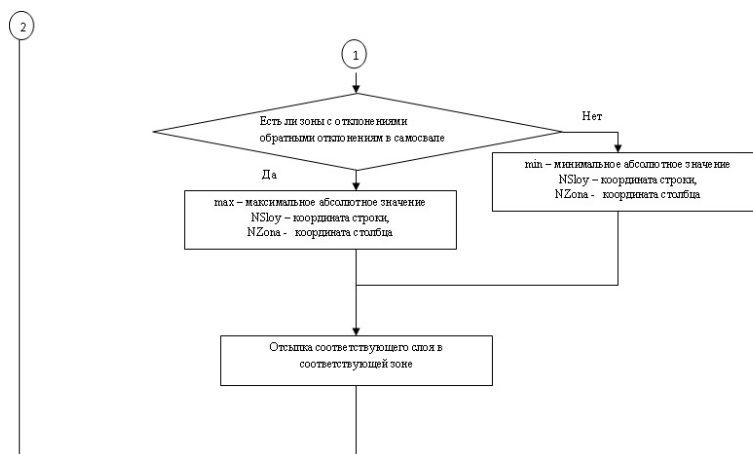


Рис. 3. Блок-схема алгоритма модели

Результаты моделирования

Для моделирования использованы данные о плановом и реальном содержании железа карьеров Северного Казахстана: Качарского, Сарбайского, Куржункульского, Соколовского и Лисаковского. Вид типового внутрикарьерного усреднительного склада приведен на рис. 4.



Рис. 4. Перегрузочно-усреднительный склад железной руды в карьерах Северного Казахстана

Стабилизация качества руд этих месторождений осуществляется по содержанию в руде железа (Fe) как полезного компонента и серы как вредного компонента. Среднее плановое содержание Fe в железной руде составляет 35-40%, колебания в руде, поступающей на усреднительный склад, – в диапазоне от 15 до 55%, содержание серы в руде колеблется от 0,5 до 5,3%, среднее – 2,2%.

Модель имеет ограничение – возможность управления по одному показателю качества – содержанию железа.

В связи с этим моделирование проводилось на основе параметров представленных в таблице.

Параметры параметров процесса усреднения на складе

Параметры моделирования	Значение для моделирования
Геометрические параметры усреднительного склада:	
длина	18-62 м
ширина	28 м
высота	7-8 м
Плотность железной руды	3,6 т/м ³
Ширина кузова автосамосвала	6,4 м
Грузоподъемность автосамосвала	120 т
Плановое содержание железа в руде, %	30-35

Контролируемым параметром модели является относительное отклонение σ_{Fe} содержания железа в руде от планового значения.

Рис. 5. Форма ввода исходных данных для моделирования

Форма ввода исходных данных приведена на рис. 5. Результатом моделирования является заполненный массив склада, представленный на рис. 6, а также выходные параметры рудопотока – среднее содержание железа по зонам склада и среднеквадратическое отклонение содержания от планового значения. На рис. 6, а визуально заметно, что при разгрузке по схеме обеспечивается более равномерное смешивание разнокачественных слоев руды, тогда как рис. 6, б свидетельствует о наличии явно выраженных «бедных» и «богатых» рудных зон. Таким образом, в первом случае будет обеспечиваться наилучшее усреднение рудопотока.

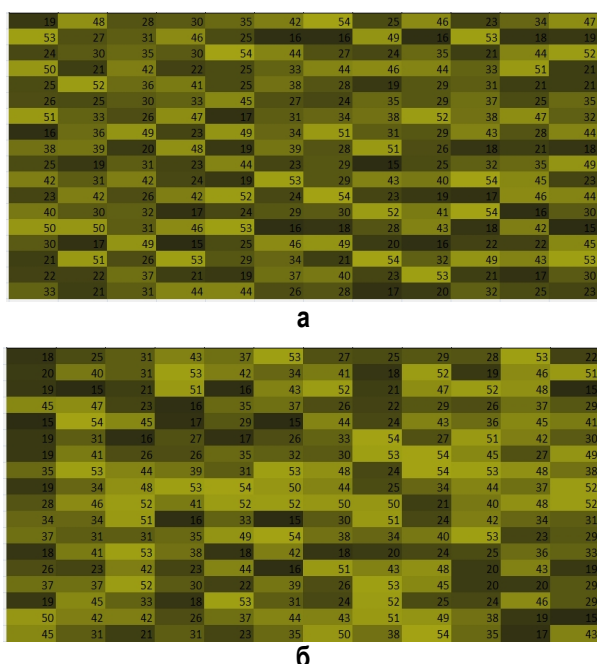


Рис. 6. Результат моделирования – заполненный склад: а - с разгрузкой по схеме на основе предложенного алгоритма; б – с бессистемной разгрузкой

По результатам экспериментов среднеквадратическое отклонение содержания железа в зонах склада от планового и среднего значений при

разгрузке самосвалов по схеме ниже в 1,2-3 раза, чем при бессистемной разгрузке.

Выводы

Модель усреднительного склада отражает существенные свойства складов отвального типа с автомобильно-железнодорожным транспортом, организуемых в карьерах, и пригодна для формирования эффективных схем разгрузки автосамосвалов с учетом усреднения руды по одному из полезных компонентов. Предварительные результаты моделирования получены с использованием среды программирования VBA и позволяют сделать положительные выводы о возможности практического внедрения модуля в составе системы поддержки принятия решений для формирования эффективных технологических схем стабилизации качества полезного ископаемого в карьере.

Список литературы

1. Усреднение качества. Горная энциклопедия [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.mining-enc.ru/uzrednenie-kachestva/> (дата обращения: 25.12.2012).
2. Месторождения железа Казахстана: справочник / Л.А. Мирошниченко, З.Т. Тилепов, Н.Я. Гуляева и др. Алматы: Комитет геологии и охраны недр Министерства экологии и природных ресурсов Республики Казахстан, 1998. 485 с.
3. Бастан П.П., Азбель И.И., Ключкин Е.И. Теория и практика усреднения руд. М.: Недра, 1979. 255 с.
4. Стаценко Л.Г. Моделирование рудопотока на входе усреднительного склада //Промышленность Казахстана. 2008. №2 (47). С.43-47.
5. Стаценко Л.Г. Разработка программного модуля «модель усреднительного склада» // VI Международная научно-практическая конференция «ГЕОТЕХНОЛОГИЯ-2007: Проблемы и пути устойчивого развития горнодобывающих отраслей промышленности»: тез. докл. Алматы, 2007. С. 115-118.
6. Gy P.M. A new theory of bed-blending derived from the theory of sampling. Development and full-scale experimental check. P.M. Gy // International Journal of Mineral Processing. 1981. Vol. 8, P. 201-238.
7. Robinson G.K. How much would a blending stockpile reduce variation? / G.K. Robinson // Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. 2004. Vol. 74, P. 121-133.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

THE “BLENDING STOCKYARD” MODULE DEVELOPMENT FOR INFORMATION SYSTEM STABILIZATION QUALITY OF MINERALS IN THE QUARRY

Statsenko Larissa Gennadevna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Rudny Industrial Institute, Kazakhstan. E-mail: stacenko_larisa@mail.ru.

Branovets Natalya Evgenevna – Senior Lecturer, Rudny Industrial Institute, Kazakhstan. E-mail: branovetsne@mail.ru.

Abstract. The paper describes information system for designing efficient technological schemes for open pit min-

ing operations to meet quality requirements of ore fed to the processing plant. Information system’s module “Blend-

ing stockyard” developed by authors allows us to use an optimal scheme of loading and unloading blending stockyard. Methods of simulation modeling and programming are used to develop the algorithm of the module.

Keywords: ore blending, blending stockyard, simulation model.

References

1. Blending of minerals. Mining Encyclopedia [Electronic resource]. Access mode: <http://www.mining-enc.ru/u/usrednenie-kachestva/>.
2. Miroshnichenko L.A., Tilepov Z.T., Gulyaev N.Y. and others. *Mestorozhdeniya zheleza Kazakhstana: spravochnik* [Iron Deposits of Kazakhstan]. Almaty: Committee of Geology and Subsoil Protection of the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan, 1998. 485 p.
3. Bastan P.P., Azbel I.I., Klyuchkin E.I. *Teoriya i praktika usredneniya rud* [Theory and practice of ore blending]. Moscow: Nedra, 1979. 255 p.
4. Statsenko L.G. Ore – Flow Simulation at the entrance of the blending stockyard. *Promyshlennost' Kazakhstana* [Industry of Kazakhstan]. 2008, no. 2(47), pp. 43-47.
5. Statsenko L.G. Development of the software module «Blending stockyard model». VI International Scientific and Practical Conference «GEOTECHNOLOGY 2007: Problems and Means for Sustainable Development of Mining Industry»: Theses of reports, Almaty, 2007, pp. 115-118.
6. Gy P.M. A new theory of bed-blending derived from the theory of sampling. Development and full-scale experimental check. *International Journal of Mineral Processing*. 1981, vol. 8, pp. 201-238.
7. Robinson G.K. How much would a blending stockpile reduce variation? *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 2004, vol.74, pp. 121-133.

УДК 669.337

КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД ПЕРЕРАБОТКИ ЗАБАЛАНСОВОЙ МЕДНОЙ СУЛЬФИДНОЙ РУДЫ

Каримова Л.М.

ТОО «Инновация», г. Караганда, Казахстан

Аннотация. Рассмотрена технологическая схема переработки забалансовой медной сульфидной руды путем получения флотационного черного медного концентрата с последующим обжигом, сернокислотным выщелачиванием. Отработаны режимы переработки раствора экстракцией и получения катодной меди.

Ключевые слова: схема переработки, гранулы, медный концентрат, обжиг, выщелачивание.

Введение

Отвалы забалансовых и некондиционных руд, а также «отработанные» месторождения являются долговременным источником загрязнения окружающей среды за счет самопроизвольного выщелачивания из них меди, цинка, свинца, молибдена, мышьяка и других металлов. В решении этой проблемы ведущая роль принадлежит гидрометаллургическим способам получения цветных металлов, в частности подземному и кучному выщелачиванию. Эти способы позволяют вовлечь в переработку забалансовые и потерянные руды, которые повышают полноту и комплексность использования сырья и сокращают загрязнение окружающей среды.

Технологические разработки

Гидрометаллургические методы требуют сильных окислителей, которые являются дорогими и дефицитными, что существенно повышает себестоимость продукции.

На основании лабораторных исследований была разработана комбинированная схема переработки забалансового сырья [1].

По химическому составу забалансовая руда является высококремнистой, алюмосиликатной, в которой медные минералы руды представлены халькозином, борнитом, халькопиритом. Хими-

Таблица 1

Химический состав забалансовой медной руды, %

Cu _{общ}	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	S _{общ}	FeO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Ag, г/т
0,32	68,1	11,22	4,1	0,26	3,0	1,55	0,26	1,21	0,48	3,36	7

ческий состав руды представлен в табл. 1.

Измельчение руды проводили в лабораторной шаровой мельнице в течение 25, 40, 50 и 60 мин. Полученные данные представлены в табл. 2.

Флотацию проводили на флотомашине ФЛА-237 по известной схеме при расходе собирателя 50 г/т, Т-80-60 г/т, продолжительности 5 мин. Извлечение при этом составляет не менее 90% [1]. Результаты химического анализа основ-

ных компонентов концентрата приведены в табл. 3.

Таблица 2

Результаты измельчения забалансовой руды

Время измельчения, мин	Содержание класса -0,074, %
25	53,10
40	73,20
50	85,96
60	92,50

Состав и размеры составляющих фаз определены с помощью микроскопа «Niophot-21».

Образец представлен рудными и нерудными зернами, угловатыми, угловато-окатанными, окатанными кристалликами, иногда неправильной формы (рис. 1).

Таблица 3

Содержание основных компонентов в концентрате, %

Cu	S	Fe	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃
4,3	3,49	3,18	3,05	1,52	1,20	62,04	10,46

Количество рудных составляющих определено линейным методом.

Халькопирит CuFeS₂ представлен зернами неправильной формы, часто зерна корродированы. Цвет желтый, желтоватый. Довольно часто зерна халькопирита наблюдаются в виде тесных сростков с нерудными минералами, иногда полностью заключены в них. Размеры зерен от 0,0125 до 0,25 мм.

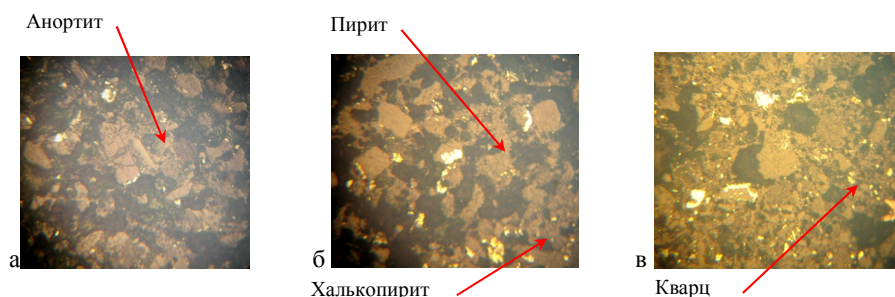


Рис. 1. Характер распределения и форма рудных и нерудных зерен в концентрате, $\times 100$

Пирит FeS₂ представлен в основном правильными зернами, в сечении, близком к квадрату. Цвет светлый. Размеры зерен от 0,01 до 0,1 мм.

Кварц SiO₂ представлен окатанными, угловато-окатанными зернами. Размеры зерен от 0,06 до 0,2 мм.

Полевые шпаты K[AlSi₃O₈] представлены таблитчатыми и неправильными угловатыми зернами. Размеры зерен от 0,02 до 0,3 мм.

Анортит Ca[Al₂Si₂O₈] представлен прямоуглыми формами с ясно выраженной спайностью. Серицит – тонкошелушчатая слюда, образуется при выветривании плагиоклазов. Размеры зерен от 0,1 до 0,45 мм.

Содержание в пробе рудных минералов: халькопирита – 9,50%; пирита – 3,25%.

В центральных частях кварца наблюдаются сростки халькопирита.

Необходимым условием подготовки медного сырья к обжигу является гранулирование исходного материала. При этом большое значение имеет получение гранул, прочностные характеристики которых должны позволять выдерживать нагрузки, возникающие при транспортировке и перегрузках, а также при переработке в обжиговой печи. Концентрат подвергался окатыванию на грануляторе, в качестве связующего использовался раствор лигносульфонатов (сульфит-спиртовая барда $\rho = 1,05 \text{ г/см}^3$). Влажность гранул составляла в среднем 10%, средняя насыпная масса 1,1 г/см³. Фракции гранул необходимого размера -10 +7 мм ($d_{cp} = 8,5 \text{ мм}$) отсеивали на ситах. Сушку гранул проводили на решетке, под которую подавался нагретый до 80-105°C воздух.

В ряде стран уделяется основное внимание гидрометаллургическим и комбинированным способам извлечения меди из минерального сырья [2]. Особое место занимает сульфатизирующий обжиг [3, 4] с последующей гидрометаллургической переработкой огарка. В работах [5-7], в том числе с нашим участием [6, 7], была установлена оптимальная температура обжига, обеспечивающая получение преимущественно сульфатного огарка, пригодного для выщелачивания ценных компонентов.

Известно [8], что наиболее энергосберегающим агрегатом является шахтная печь, где создаются условия противотока обжигаемого материала иходящих газов. Поэтому исследования проводили в плотном слое гранул.

Навеска гранул флотоконцентрата при каждом опыте имела массу 50 г, которая загружалась в сетчатое дно вертикальной электрообогреваемой трубчатой печи с заранее установлен-

ной температурой 400; 550; 600; 700°C и подавался воздух со скоростью 60 м³/с компрессором через ротаметр в течение 60 мин.

В результате исследований процесса обжига и выщелачивания установлено, что достаточно высокая степень извлечения меди в раствор достигается после обжига при $t = 550-600^\circ\text{C}$. Минералогический состав обожженного флотационного концентрата представлен в **табл. 4**. Плотность огарка составила 2,514 г/см³, насыпная масса 1,22 г/см³.

Выщелачивание огарка проводили раствором серной кислоты с концентрацией 100 г/л при Ж:Т=4:1 и при температуре 80°C на магнитной мешалке в течение 60 мин. Извлечение меди в раствор составило 95-97%.

Раствор выщелачивания подвергался известной экстракционной переработке по схеме, состоящей из трех стадий экстракции, двух стадий промывки и двух стадий рекстракции. При экстракции использовали экстрагент Lix 984N.

Таблица 4

Минералогический состав обожженного черного флотационного концентрата, полученный при проведении рентгеноструктурного анализа

Наименование минерала	Химическая формула
Кварц	SiO ₂
Тенорит	CuO
Халькантит	CuSO ₄
Куприт	Cu ₂ O
Гематит	Fe ₂ O ₃
Парамелаконит	Cu ₄ O ₃
Феррит меди	CuFe ₂ O ₄
Борнит	Cu ₅ FeS ₄
	(Cu ₅ FeS ₄) _{0,5}
Делафоссит	CuAlO ₂

Состав раствора после экстракции наработанного при выщелачивании огарков для проведения электролиза приведён в **табл. 5**. Кек направляется на переработку для извлечения серебра.

Для проведения лабораторных испытаний по электролизу меди из раствора был использован электролизер, представляющий собой полипропиленовую ванну емкостью 2,0 л. Использо-

вались два свинцовых анода с добавкой 1% серебра и один титановый катод. Площадь катода составляет 0,027 м² с двух сторон. Плотность тока составляла 250 А/м², температура раствора 45-50°C, продолжительность электролиза составляла 7 сут. Выход по току – 95%. В **табл. 6** представлены результаты химического анализа полученной катодной меди, которая соответствует марке МООк по большинству примесей.

Таблица 5

Химический состав медного электролита, г/л

Cu	Ni	H ₂ SO ₄	SO ₄	Cl	Pb	As	Sb	Fe	Mg	Al	Bi	Ca	Zn
49,24	<0,01	157,24	227,9	<0,13	<0,05	<0,05	<0,05	0,21	<0,01	<0,05	<0,05	0,05	<0,01

Таблица 6

Результаты химического анализа катодной меди, %

Cu	Ag	Pb	Fe	Si	Sn	Ni	Zn	Co	As
99,99	0,0034	0,00045	0,00051	0,0002	0,0001	0,0003	0,0002	0,00006	0,00018
Sb	Cr	Mn	Cd	P	Bi	Se	Te	S	P
0,00018	0,00017	0,00025	0,00006	0,00015	0,00006	0,00011	0,00006	0,0012	76,4 г/т

Исключение составляет повышенное содержание серебра, что не ухудшает эксплуатационных характеристик меди и может являться следствием растворения свинцово-серебряного анода.

Общая схема переработки забалансовой медной сульфидной руды представлена на **рис. 2**.

Выводы

Предложена комбинированная технология переработки медносульфидной забалансовой руды Жезказганского месторождения.

Показано, что полнота извлечения меди в черновой концентрат зависит от содержания класса – 0,074 мм и при его содержании до 90%. Флотационное обогащение проводили при расходе реагентов собирателя 80 г/т, Т – 40 г/т, времени флотации 4-6 мин.

Установлено, что достаточно высокую степень извлечения меди в условиях автогенного обжига можно достичь при условиях: $t = 500-600^\circ\text{C}$, $\tau = 40-60$ мин, $d = 8-12$ мм, гранулированном на смеси из раствора лигносульфонатов (сульфит-спиртовая барда $\rho = 1,05$ г/см³).

При выщелачивании раствором серной кислоты извлечение меди составило 95-97%.

Растворы сернокислотного выщелачивания подверглись экстракционной переработке с целью очистки от примесей.

Получена катодная медь марки МООк при плотности тока $i = 250 \text{ А/м}^2$, с выходом по току 95%.

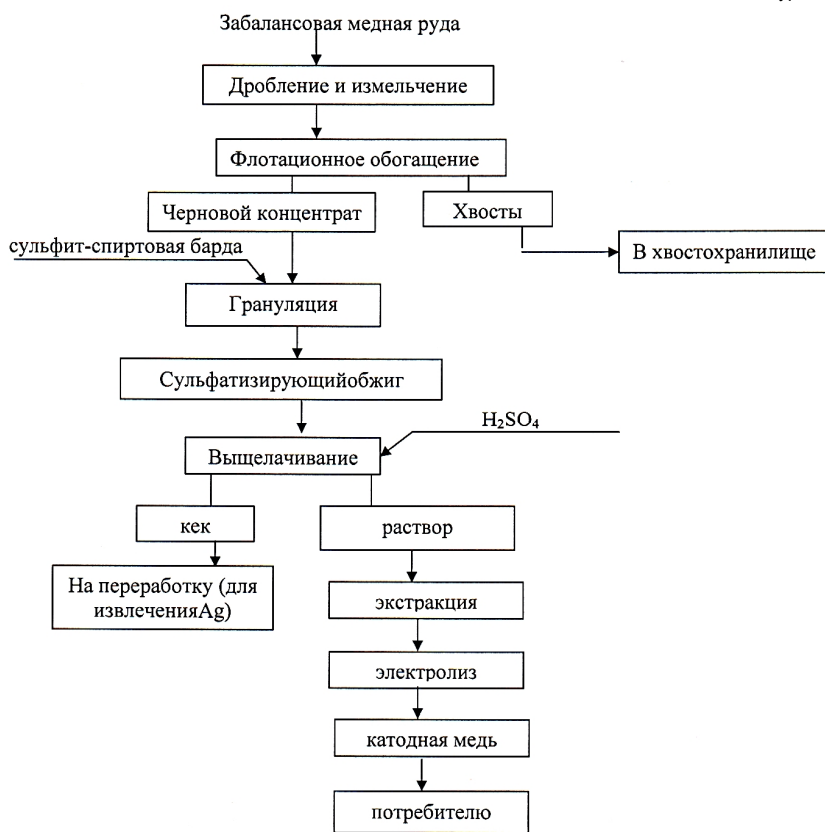


Рис. 2. Схема переработки забалансовой медной сульфидной руды

Список литературы

1. Инновационный патент 25311 РК. Способ комплексной пере-

- работки бедных забалансовых сульфидных руд и концентратов/ Жумашев К.Ж., Каримова Л.М., Кайраляпов Е.Т., Токбулатов Т.Е., Юн А.Б. Бюл. №12 от 20.12.2011.
2. Металлургия меди, никеля и кобальта / И.Ф. Худяков, А.И. Тихонов, В.И. Деев, С.С. Набойченко. М.: Металлургия, 1977. Т. 1.
3. Атабашян Е.М., Лейзерович Г.Я., Лонский И.С., Метелицына И.А. // Цветная металлургия. 1962. №8. С. 25.
4. Саргсян Л.Е., Оганесян А.М. Обжиг сульфидно-цинкового концентрата с получением преимущественно сульфатного огарка для эффективного выщелачивания // Цветные металлы. 2006. №7. С. 16.
5. Саргсян Л.Е., Оганесян А.М. Активированный сульфатизирующий обжиг халькопиритового концентрата для сернокислотного выщелачивания // Изв. вузов. Цветная металлургия. 2010. №5. С. 11-13.
6. Жумашев К.Ж., Каримова Л.М., Кайраляпов Е.Т., Иманалиева А.Т. Изучение влияния сульфатизации серной кислотой черного сульфидного концентрата для автогенности обжига // Материалы Международной научно-практической конференции «Гетерогенные процессы в обогащении и металлургии», Абишевские чтения-2011. Караганда, 2011. С. 157-160.
7. Жумашев К.Ж., Каримова Л.М., Кайраляпов Е.Т. Изучение автогенности обжига некондиционного черного медного концентрата воздухом, обогащенным кислородом // Материалы XI Междунар. науч.-практич. конф. «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности». Санкт-Петербург, 2011. Т. 1. С. 170-172.
8. Букетов Е.А., Малышев В.П. Технологические процессы шахтного обжига в цветной металлургии. Алма-Ата: Наука КазССР, 1973. 352 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

COMBINED METHOD OF PROCESSING THE OFF-BALANCE COPPER SULPHIDE ORE

Karimova Lyutsiya Monirovna – Ph.D. (Chemistry), Leading Research Engineer LLT Innovatsiya, Karaganda, Kazakhstan. E-mail: lutsia.08@mail.ru.

Abstract. The technological scheme of processing the off-balance copper sulphide ore was considered, including separation of the rough flotation copper concentrate followed by roasting, sulfuric acid leaching. The modes were worked out for solution processing by extraction and for producing cathode copper.

Keywords: processing scheme, pellets, copper concentrate, roasting, leaching.

References

1. Zhumashev K.Zh., Karimova L.M., Kayralapov Y.T., Tokbulatov T.E., Yn A.B. The method of complex processing of poor off-balance sulfide ores and concentrates. RK Innovative patent №25311, Bull. №12 from 20.12.2011.
2. Hudyakov I.F., Tikhonov A.I., Deev V.I., Naboichenko S.S. *Metal-lurgiya medi, nikelya i kobal'ta* [Metallurgy of copper, nickel and cobalt]. Moscow: Metallurgy, 1977. Vol. 1.
3. Atbashyan E.M., Leyzerovich G.Y., Lonskaya I.S., Metelitsyn I.A. *Tsvetnaya metallurgiya* [Non-Ferrous Metallurgy], 1962, no. 8, p. 25.
4. Sargsyan L.E., Hovhannisyan A.M. Roasting sulfide zinc concentrate to produce a predominantly sulfate cinder for effective leaching. *Tsvetnye metally* [Non-Ferrous Metals], 2006, no. 7, p. 16.
5. Sargsyan L.E., Hovhannisyan A.M. Activated sulphatizing roasting of chalcopirite concentrate sulfuric acid for leaching. *Izv.*

- vuzov. *Tsvetnaya metallurgiya* [Proceedings of the universities. Nonferrous metallurgy], 2010, no. 5, pp.11-13.
6. Zhumashev K.Zh., Karimova L.M., Kayralapov Y.T., Imangalieva A.T. Study of influence of sulfuric acid sulfation of rough sulfide concentrate for roasting autogeny. International scientific and practical conference «Heterogeneous processes in metallurgy and enrichment» Abishevskie read, 2011. Abishevskie chtenia, 2011, pp. 157-160.
 7. Zhumashev K.Zh., Karimova L.M., Kayralapov Y.T. Study roasting autogeny of substandard rough copper concentrate by oxygen enriched air. *Materialy XI Mezhdunar. nauch.-praktich. konf. «Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya, razrabotka i primeneniye vysokih tekhnologii v promyshlennosti»* [XI Intern. scientific and practical conf. «Fundamental and applied researches, development and application of high technology in the industry»], St. Peterburg, 2011, vol. 1, pp. 170-172.
 8. Bouquets E.A., Malyshev V.P. *Tehnologicheskie processy shahtnogo obzhiga v tsvetnoj metallurgii* [Technological processes of shaft roasting in nonferrous metallurgy]. Alma-Ata: Science of the Kazakh SSR, 1973. 352 p.
-

ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ И ОТХОДОВ

УДК 669.013:628.31

БИОИНДИКАЦИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕКИ АНГАРА ПРИ РАЗРЯДНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКЕ ПРОМСТОКОВ ОБОГАТИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ворошилова М.В., Коростовенко В.В., Степанов А.Г., Галайко А.В.

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

Аннотация. Большая концентрация промышленных предприятий, расположенных в Нижнем Приангарье, приводит к серьезному осложнению экологической ситуации. Анализ структурных характеристик зообентоса водоема с помощью методов биоиндикации подтвердил высокий уровень загрязнения реки примесями техногенного характера.

В статье приведены результаты исследований по возможности применения разрядно-импульсной обработки (РИО) сточных вод с целью их очистки и дальнейшего использования в оборотном водоснабжении. Установлено, что использование РИО для очистки промстоков горно-обогатительных предприятий позволит значительно интенсифицировать процессы осаждения дисперсных примесей, эффективно удалять органические соединения.

Применение данной технологии очистки дает возможность улучшить качественные и количественные показатели зообентоса Ангары, организовать эффективную систему замкнутого водооборота, сократить потребление свежей воды.

Ключевые слова: экология, сточные воды, биоиндикация, зообентос, обогатительные предприятия, разрядно-импульсная технология, оборотное водоснабжение.

Введение

Как известно, предприятия металлургического комплекса являются одним из основных источников загрязнения окружающей среды. Для всех отраслей промышленности характерно существенное воздействие на биосферу, в результате которого происходят значительные изменения экологического состояния большинства природных объектов.

В процессе добычи полезных ископаемых извлекаются огромные объемы горной массы, нарушаются природные ландшафты, многочисленные площади земной поверхности занимают карьерами горнодобывающих предприятий, отвалами горных пород и хвостохранилищами. При сбросе сточных вод обогатительных предприятий в поверхностные водоемы резко изменяются гидрогеологические и гидрологические условия в районе месторождения, ухудшается качество подземных и поверхностных вод. Кроме того, проблема охраны поверхностных пресных вод от загрязнения обусловлена чрезвычай-

но разнообразным составом сточных вод, образующихся на промышленных производствах, что определяется широким спектром технологических процессов, различием исходного сырья и характером использования воды.

Таким образом, экологическая ситуация в районах размещения обогатительных предприятий существенно осложнена.

Предприятия Иркутской области производят около 2,5% общероссийского объема промышленной продукции. В структуре промышленного производства одну из лидирующих позиций занимает цветная металлургия [1]. Большое количество промышленных объектов Нижнего Приангарья приводит к ухудшению качества природных вод вследствие сбросов загрязненных сточных вод. Необходимо отметить, что доля оборотного водоснабжения в данном регионе незначительна. Поэтому загрязнения реки Ангары по многим химическим и бактериологическим показателям существенно превышает экологические нормативы.

Неблагоприятные природно-климатические

особенности Нижнеангарского региона обуславливают низкие регенерационные возможности его природной среды, что делает обязательным оснащение размещаемых на территории региона объектов передовыми системами обезвреживания всевозможных отходов, исключающими их попадание в окружающую природную среду в размерах, превышающих заданные экологические стандарты [2].

Анализ развития современных методов очистки промышленных сточных вод указывает на то, что известные технологии, позволяющие использовать стоки для оборотного водоснабжения, обладают рядом значительных недостатков, которые ограничивают возможности их применения.

Среди востребованных в настоящее время технологических направлений следует выделить применение импульсного электрического разряда для очистки сточных вод. Разрядно-импульсная технология – перспективный метод обработки воды и водных дисперсных систем с целью их обеззараживания и осветления [3, 4].

Таким образом, целью данного исследования является оценка снижения уровня загрязнения воды реки Ангара методами биоиндикации при использовании разрядно-импульсной обработки сточных вод горно-металлургических предприятий.

Теория, материалы и методы исследования, технические и технологические разработки

Импульсный электрический разряд в жидкости – процесс большой концентрации энергии. По существу, такой электрический разряд в жидкости не что иное, как взрыв – очень быстрое выделение большого количества энергии в первоначально малом объеме канала искры разряда.

До момента электрического взрыва энергия содержится в скрытой потенциальной форме в электрическом конденсаторе. Быстрое выделение энергии порождает сильное механическое действие, т.е. появление механических сил, приложенных к среде и отдельным телам, помещенных в зону разряда [5].

Известно, что при разрядно-импульсной обработке (РИО) воды наряду с процессами диспергирования при определенных энергиях воз-

действия наблюдается коагуляция мельчайших твердых частиц [6]. В исследованиях [7] выявлено, что при электровзрывном воздействии пиролиз жидкой фазы в канале разряда приводит к частичному разложению воды с образованием кислорода, озона, водорода и активных радикалов. В результате этого присутствующие в водной среде органические соединения разлагаются.

В качестве источника импульсных электрических разрядов использовали установку, схема которой приведена на рисунке.

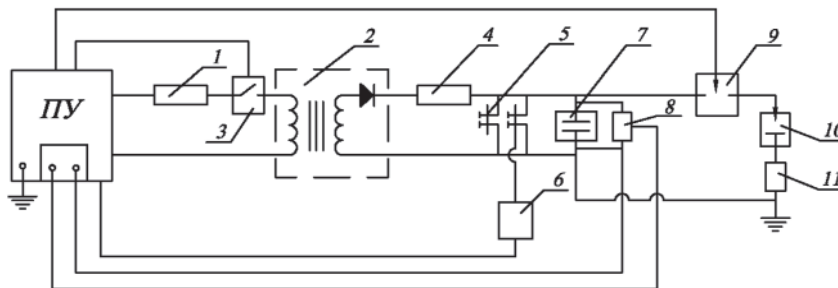


Схема лабораторной установки: ПУ – пульт управления; 1 – предохранитель; 2 – зарядный блок; 3 – концевой разъем; 4 – ограничивающее зарядное сопротивление; 5 – защитная электромагнитная блокировка; 6 – защитная механическая блокировка; 7 – блок импульсных конденсаторов; 8 – делитель напряжения; 9 – высоковольтный коммутатор; 10 – рабочий орган; 11 – коаксиальный шунт

Технологический узел представляет собой реактор цилиндрической формы объемом 1 дм³, изготовленный из титана. В качестве материала электродов применялась сталь Ст-3. В качестве объекта исследований были использованы хвостовые растворы коллективной флотации сульфидной свинцово-цинковой руды. В ходе эксперимента энергия импульсной обработки хвостовых растворов варьировалась в широком диапазоне.

Для анализа структурных характеристик зообентоса пробы отбирались в водных объектах бассейна реки Ангара с помощью количественного скребка Д.Г. Дулькейта, с площадью захвата 0,1 м². Разбор проб и фиксация спиртом производились в течение 24 ч.

Численность и биомассу рассчитывали по фиксированному в 80% спирте животным. Взвешивание организмов производили на торсионных весах.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследованиями с помощью биоиндикационных методов установлено, что в верхнем и нижнем районах Ангара численность и биомас-

са основных индикаторных микроорганизмов, наличие которых свидетельствует о достаточном качестве и чистоте воды, незначительна (табл. 1).

Таблица 1

Количественные показатели зообентоса реки Ангара (при сбросе сточных вод в реку)

Название организмов	р. Ангара, верхний район		р. Ангара, нижний район	
	Численность групп, %	Биомасса, %	Численность групп, %	Биомасса, %
Двукрылые	86	24	23	9
Ручейники			1	9
Поденки	2	38	1	1
Веснянки				
Амфиподы			1	2
Олигохеты	8	11	63	21
Моллюски	2	5	10	53
Прочие	2	22	1	5

Преобладание в реке олигохетов указывает на то, что водоем загрязнен органическими соединениями, содержание кислорода в воде минимальное.

Кроме того, результаты химического анализа выявили, что pH воды изменяется в пределах 7,60 до 8,36 по мере продвижения реки к устью, наблюдается загрязнение водоема взвешенными веществами, ионами меди, цинка, марганца, свинца, органическими соединениями.

Таким образом, необходимость переработки сточных вод с целью кондиционирования и очистки обосновывает актуальность поиска эффективного технологического решения данной проблемы. Внедрение замкнутых систем водного хозяйства на промышленных предприятиях в настоящее время считается практически единственным способом рационального водопользования.

Необходимо отметить, что кондиционирование и очистка промстоков является исключительно важной задачей не только с экологической точки зрения, но и в аспекте ресурсосбережения. Глубокая очистка сточных вод позволяет существенно увеличить использование воды в системах замкнутого водооборота. Это позволит уменьшить объем свежей воды, необходимой для восполнения безвозвратных потерь, имеющих место в любой системе водооборота.

Учитывая, что концентрация промышленных производств в районе реки Ангара, усиливающих дестабилизацию экологической ситуа-

ции, достаточно велика, то представлялось целесообразным изучить возможность очистки промышленных сточных вод, образующихся в результате переработки полиметаллических руд, с помощью разрядно-импульсной технологии.

Установлено, что РИО ускоряет процесс коагуляции твердой фазы в воде и способствует осаждению минеральных частиц. Экспериментально доказано, что оптимальная энергия обработки стоков, содержащих свинцово-цинковые частицы, составляет 4,4-5,1 кДж/дм³. При увеличении скорости осаждения в 7 раз эффективность осаждения взвесей возрастает в 8 раз. В ходе эксперимента подтверждено, что органические соединения окисляются при электровзрывном воздействии.

Таким образом, кондиционирование воды с помощью высоковольтного электрического разряда в жидкости дает возможность направлять стоки на оборотное водоснабжение, что позволит снизить негативное воздействие на водные экосистемы.

При этом количественные показатели зообентоса реки Ангара значительно улучшаются при использовании разрядноимпульсной технологии, что свидетельствует об улучшении качества воды (табл. 2).

Таблица 2

Количественные показатели зообентоса реки Ангара (при оборотном водоснабжении)

Название организмов	р. Ангара, верхний район		р. Ангара, нижний район	
	Численность групп, %	Биомасса, %	Численность групп, %	Биомасса, %
Двукрылые	85	23	26,5	12
Ручейники	0,5	1	6	15
Поденки	2,0	40	4,5	6
Веснянки	0,5	1	2,5	4
Амфиподы			1	1
Олигохеты	7	10	38	9
Моллюски	2	5	9	36
Прочие	3	20	2,5	11

Выявлено, что количественный анализ зообентоса реки Ангара существенно изменится. В частности, количество донных беспозвоночных, являющихся биоиндикаторами показателя качества воды с достаточным содержанием кислорода и ее чистоты, увеличилось в несколько раз.

Проведенные исследования показали, что импульсный метод также находит применение в

различных технологиях и схемах обогащения минерального сырья [8].

Заключение

При импульсной обработке стоков обогащенных предприятий, содержащих свинцово-цинковые частицы, в диапазоне оптимальных энергий 4,4-5,1 кДж/дм³, наблюдается значительное увеличение эффективности очистки. Кроме того, улучшение количественных показателей зообентоса реки Ангара свидетельствует об улучшении качества воды.

Полученные положительные результаты исследований показывают перспективность применения разрядно-импульсного метода и возможность совершенствования технологии очистки сточных вод горно-обогатительных предприятиях, позволяя резко сократить потребление свежей воды на производстве и снизить антропогенное влияние на водные экосистемы.

Список литературы

1. Шилова Н.Н. Мониторинг вторичных ресурсов как составной элемент экологической политики региона (на примере Иркутской области) // Известия ИГЭА. 2004. №4.
2. Бурматова О.П. Возможности и ограничения развития Нижнего Приангарья с позиций экологического императива // Реки Сибири: материалы VI Международной научно-практической конференции. Красноярск, 22-24 марта 2011 / отв. ред. А.Ю. Колпаков. Красноярск, 2011. С. 18-22.
3. Кривицкий Е.В. Динамика электровзрыва в жидкости. Киев: Наук. думка, 1986. 208 с.
4. Гулый Г.А. Научные основы разрядноимпульсных технологий / отв. ред. Б.Я. Мазуровский. Киев: Наук. думка, 1990. 208 с.
5. Малишевский П.П. Основы разрядно-импульсной технологии. Киев: Наук. думка, 1983. 272 с.
6. Круглицкий Н.Н., Горовенко Г.Г., Малишевский П.П. Физико-химическая механика дисперсных систем в сильных импульсных полях. Киев: Наук. думка, 1983. 192 с.
7. Коростовенко В.В. Электрофизические методы в комбинированных технологиях переработки минерального сырья: монография. Красноярск: ИПК Сиб. федер. ун-та, 2008. 216 с.
8. Пат. 2514351 РФ. Способ обогащения руд цветных металлов / В.В. Коростовенко, Шахрай С.Г., Степанов А.Г., Ворошилова М.В.; опубл. 27.04.2014, Бюл. №12. 7 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

BIOINDICATION OF CHANGES IN WATER QUALITY OF THE ANGARA RIVER AT DISCHARGE PULSE PROCESSING OF EFFLUENTS FROM BENEFICIATION FACILITIES

Voroshilova Marina Vladimirovna – Lead Engineer, Institute of Nonferrous Metals and Materials Science of Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia. Phone: (8391) 2063618, E-mail: aniram1988@yandex.ru.

Korostovenko Vyacheslav Vasilievich – D.Sc. (Eng), Professor, Institute of Nonferrous Metals and Materials Science of Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia. Phone: (8391) 2063618.

Stepanov Alexander Germanovich – Ph.D. (Eng), Associate Professor, Institute of Nonferrous Metals and Materials Science of Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia. Phone: (8391) 2063618.

Galaiko Alexander Vladimirovich – Ph.D. (Eng), Associate Professor, Institute of Nonferrous Metals and Materials Science of Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia. Phone: (8391) 2063618.

Abstract. A large concentration of industrial enterprises located in the Lower Angara, leads to a serious complication of the environmental situation. Structural characteristics analysis of reservoir zoobenthos using the methods of bio-indication confirmed the high level of pollution of the river with man-made impurities.

The article presents the results of studies on the possibility of applying a discharge pulse processing (DPP) of wastewater for cleaning and further use of water recycling. It is established that the use of DPP for cleaning industrial wastes of mining and processing enterprises will significantly intensify the processes of sedimentation of dispersed particles, effectively remove organic compounds.

The use of this treatment technology gives the opportunity to improve qualitative and quantitative indicators of Angara zoobenthos, organize an efficient system of closed water cycle, reduce the consumption of fresh water.

Keywords: ecology, waste water, bio-indication, zoobenthos, concentrating enterprises, discharge pulse technology, closed water cycle.

References

1. Shilova N.N. Monitoring of secondary resources as a component of ecological policy in the region (for example, the Irkutsk Region). *Izvestiya IGE'A* [News of ISEA]. 2004, no. 4.
2. Burmatova O.P. The capabilities and limitations of the Lower Angara region development from the standpoint of environmental imperative. *Reki Sibiri: materialy VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Rivers of Siberia: Proceedings of VI International scientific and practical conference]. Krasnoyarsk, 22-24 march 2011. Ed. A.J. Kolpakov. Krasnoyarsk, 2011, pp. 18-22.
3. Krivitskiy E.V. *Dinamika e'lektrovzryva v zhidkosti* [Dynamics of electrical explosion in a liquid]. Kiev: Naukova dumka, 1986. 208 p.
4. Guliy G.A. *Nauchnye osnovy razryadnoimpul'snyh tekhnologii* [Scientific basis of a discharge pulse processings]. Ed. B.Y. Mazurovskiy. Kiev: Naukova dumka, 1990. 208 p.
5. Malyushevskiy P.P. *Osnovy razryadno-impul'snoj tekhnologii*

- [Basics of a discharge-pulse technology]. Kiev: Naukovas Dumka, 1983. 272 p.
6. Kruglitskiy N.N., Gorovenko G.G., Malushevskiy P.P. *Fiziko-khimicheskaya mekhanika dispersnykh sistem v sil'nykh impul'snykh pol'yakh* [Physico-chemical mechanics of disperse systems in strong pulsed magnetic fields]. Kiev: Naukova dumka, 1983. 192 p.
 7. Korostovenko V.V. *E'lektrofizicheskie metody v kombinirovannykh tekhnologiyakh pererabotki mineral'nogo syr'ya: monografiya* [Electrophysical methods in combined technologies of minerals processings: monograph]. Krasnoyarsk: Publ. of Siberian federal university, 2008. 216 p.
 8. Korostovenko V.V., Shakhrai S.G., Stepanov A.G., Voroshilova M.V. *Sposob obogashcheniya rud tsvetnykh metallov* [Enrichment methods of non-ferrous metal ores]. Patent 2514351 RF.

УДК 622.765.063

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ФЛОКУЛЯНТОВ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ УГОЛЬНОГО ШЛАМА

Субботин В.В., Петухов В.Н.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

Аннотация. Современные углеобогащательные предприятия постоянно сталкиваются с проблемой обогащения и обезвоживания шламов. Решение этой проблемы во многом связано с правильным подбором наиболее эффективных флокулянтов и флотационных реагентов, которые обеспечивают высокую эффективность работы всей фабрики в условиях жестко замкнутой водно-шламовой схемы.

Целью данной работы является исследование наиболее эффективных флокулянтов для повышения очистки оборотной воды от угольных шламов на углеобогащательной фабрике.

В данной работе представлены экспериментальные данные по исследованию процесса флотации угольного шлама с использованием различных реагентов – собирателей после предварительной флокуляции, с применением флокулянтов типа Magnafloc.

Было установлено, что наиболее эффективным реагентом для очистки шламовых вод является флокулянт М-10, который позволяет значительно улучшить качество оборотной воды и увеличить выход сгущенного продукта.

Ключевые слова: угольный шлам, шламовые воды, флокулянты, технология осаждения, адсорбция.

Введение

В углеобогащательной отрасли угольные шламы из-за высоких затрат на их обогащение и обезвоживание и, в большей части, низких показателей флотуемости и высокой конечной влажности уже обезвоженного концентрата воспринимаются как серьезная экономическая проблема. Тем не менее, вместе с ростом стоимости угля растет и экономический потенциал процессов обогащения угля.

Наиболее распространенным и эффективным методом обогащения шламов является процесс флотации. Он позволяет получать высокие технико-экономические показатели обогащения частиц крупностью менее 0,5 мм. В течение многих лет флотация оставалась единственным методом обогащения угольных шламов.

При мокром способе обогащения угля образуется большое количество шламовых вод, которые содержат тонкодисперсные частицы, отрицательно влияющие на эффективность очистки вод, повторно используемых в технологическом процессе.

Шламовые воды являются дисперсными системами, состоящими из дисперсной фазы и дисперсионной среды, в которых дисперсной фазой являются угольные частицы, а дисперсионной средой – технологическая вода. Между дисперсными частицами, как и между молекулами любого вещества, действуют межмолекулярные силы притяжения. Кроме того, тонкодисперсные угольные частицы в водной среде приобретают одноименный отрицательный заряд, который препятствует их сближению и образованию агрегатов из-за электростатических сил отталкивания. Поэтому, изменяя силы электростатического отталкивания или нейтрализуя их путем добавления полиэлектролитов, можно управлять устойчивостью дисперсных систем. Обычно для этой цели используют высокомолекулярные флокулянты, позволяющие существенно повысить эффективность очистки технологических вод углеобогащения. Успешная реализация этого процесса возможна только при наличии теоретических основ управления агрегативной устойчивостью угольно-глинистых суспензий [1,2].

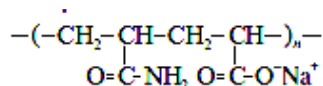
Решение этой проблемы во многом связано с правильным подбором наиболее эффективных флокулянтов и флотационных реагентов, которые обеспечивают высокую эффективность работы всей фабрики в условиях жестко замкнутой водно-шламовой схемы.

Теория, материалы и методы исследования, технические и технологические разработки

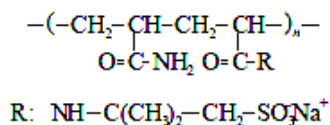
Для осветления угольных пульп на УОФ используют флокулянты различного типа, отличающиеся строением и молекулярной массой макромолекул.

Анионные – наиболее эффективны при обработке положительно заряженных дисперсий, сточных вод, «хвостов» флотации, при обогащении и регенерации полезных ископаемых, интенсификации нефтедобычи.

Сополимер акриламида с акриламидом натрия:

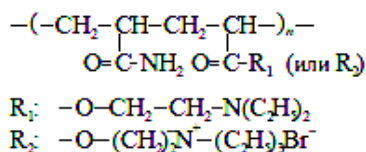


Сополимер акриламида с 2-акриламидо-2-метилпропансульфонатом натрия:



Катионные – наиболее эффективны для отрицательно заряженных дисперсий, отчистки вод, загрязненных органическими продуктами, для концентрирования и обезвоживания осадков.

Сополимер акриламида с N,N-диэтиламиноэтилметакрилатом (R_1) или его четвертичной солью (R_2):



В качестве флокулянтов нами исследованы флокулянты Magnafloc анионного и катионного типа, сополимеры полиакриламида, с молекулярной массой от 10 до 20 млн а.е.м., в зависимости от ионности содержат 95-98% полиакриламида и 2-5% сополимеров.

Для исследования были выбраны следующие флокулянты:

Magnoflok M-10 – полиакриламид, анионный, молекулярная масса 18 млн, рабочий диапазон 5-11 pH, ионная активность 5-7%;

Magnoflok M-155 – полиакриламид, анионный, молекулярная масса 20 млн, рабочий диапазон 5-11 pH, ионная активность 13-15%;

Magnoflok M-5250 – сополимер акриламида, анионный, молекулярная масса 20 млн, ионная активность 30-35%;

Magnoflok M-345 – сополимер акриламида, анионный, молекулярная масса 15 млн, ионная активность 40-45%;

Magnoflok M-525 – сополимер акриламида, анионный, молекулярная масса 10 млн, ионная активность 45-50%;

Magnoflok M-380 – катионный сополимер акриламида, катионная активность 80%, молекулярная масса 14 млн.

Magnafloc M-1597 – синтетический флокулянт на основе полиамина. Он выпускается в виде 50% раствора, хорошо растворимого в воде. Флокулянт имеет максимальную катионную активность, низкую молекулярную массу менее 5 тыс. и основной механизм действия – изменение заряда поверхности. У флокулянта отсутствуют длинные молекулярные цепи.

Полиэлектролит ВПК-402 – синтетический органический высокомолекулярный катионный водорастворимый полимером линейно-циклической структуры, молекулярная масса полимера составляет примерно $3 \cdot 10^5$.

Угольная пульпа, для проведения исследований, была взята непосредственно из технологического процесса обогащения угля с нескольких обогатительных фабрик Кузнецкого угольного бассейна. При проведении экспериментальных работ суспензия содержала 5 г/л твердой фазы.

При выполнении исследовательской работы использовался ряд современных методов, таких как определение скорости осаждения, седиментационный анализ, электропроводность и адсорбция флокулянтов на угольных частицах.

Результаты исследования и их обсуждение

При исследовании установлено, что скорость осаждения угольных частиц максимально высокая при использовании флокулянта Magnafloc M-10 с молекулярной массой 18 млн, а наиболее низкая флокуляционная способность установлена для флокулянта Magnafloc M-380 с молекулярной массой 14 млн.

При этом эффективность действия флокулянтов по скорости осаждения увеличивается при расходе 0,5 г/т в ряду: M-10 > M-155 > M-5250 > M-525 > M-345 > M-199 > M-1597 > ВПК-402 > M-380 (рис. 1).

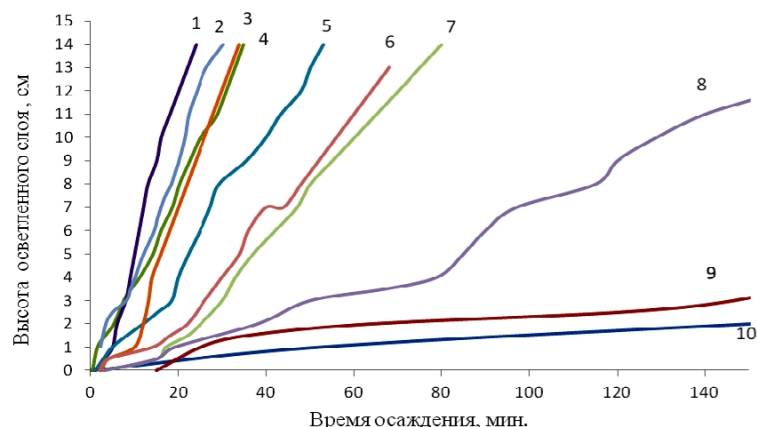


Рис. 1. Зависимость высоты осветленного слоя от времени процесса флокуляции угля, при концентрации 0,5 г/т:
 1 – М-10; 2 – М-155; 3 – М-5250; 4 – М-525; 5 – М-345; 6 – М-199;
 7 – М-1597; 8 – М-ВПК-402, 9 – М-380; 10 – без флокулянта

Исследованием установлено, что в случае применения анионного флокулянта М-10 при расходе 0,5 г/т процесс осаждения угольных зерен происходит более интенсивно по сравнению с М-155. При использовании флокулянта М-10 с расходом 0,5 г/т высота осветленного слоя угольной суспензии составляет 14 см за 24 мин, а высота осветленного слоя при использовании флокулянта М-155 составляет 14 см за 30 мин. Повышение концентрации флокулянта в растворе приводит к снижению скорости осаждения флокул. Так, например, при расходе 1 г/т флокулянта М-155 угольной суспензии высота осветленного слоя 14 см достигается за 45 мин. Подобные закономерности прослеживаются для других флокулянтов.

Установлено, что скорость осаждения угольных флокул наиболее высокая при использовании анионного флокулянта М-10.

При равной концентрации флокулянтов в воде 1 г/т угля скорость осаждения угольных частиц в случае использования флокулянта М-10 составила 0,91 см/мин, а для ВПК-402 и М-380 скорость осаждения угольных флокул снизилась соответственно до 0,32 и 0,20 см/мин [4]. Это объясняется увеличением размера флокул при применении анионного флокулянта.

На скорость осаждения угольных зерен при

использовании флокулянтов оказывает влияние не только молекулярная масса, но и структурные особенности макромолекул и их ионная активность, определяющие характер их адсорбции на угольной поверхности и процесс флокуляции [3].

Исследованием установлена повышенная адсорбция катионного флокулянта М-380 на угольной поверхности по сравнению с анионным (рис. 2), а также более высокая электропроводность водных растворов флокулянта, что объясняется более высокой катионной активностью флокулянта М-380, которая составляет 80 %.

Для изучения структурно-химических особенностей органической массы угля (ОМУ) широко используют структурные модели, вклю-

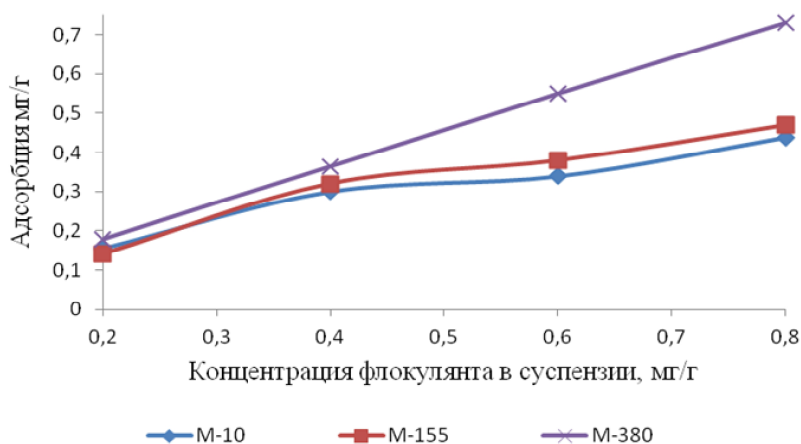


Рис. 2. Адсорбция флокулянтов

чающие основные структурные фрагменты ОМУ – функциональные группы (-ОН; COOH; ОСН₃; NH; SH и др.), боковые углеводородные заместители.

Наличие упомянутых функциональных групп, а также атомов углерода с различной степенью гибридизации валентных *s*, *p*-орбиталей обуславливает существенную неравномерность распределения электронной плотности в макромолекулах ОМУ, что обеспечивает условия для осуществления электронодонорно-акцепторных (ЭДА) взаимодействий с нуклеофильными и электрофильными центрами макромолекул флокулянтов [4].

Катионные флокулянты, имея значительный положительный заряд на углеводородном фрагменте полиэлектролита, могут активно

взаимодействовать с отрицательно заряженными центрами угольной поверхности. Это обуславливает возможность адсорбции катионных флокулянтов во внутренней обкладке двойного электрического слоя поверхности угля. Поэтому при незначительной концентрации катионного флокулянта будет осуществляться нейтрализационный механизм коагуляции, приводящий к снижению заряда угольной поверхности и укрупнению флоккул. При больших концентрациях флокулянта происходит перезарядка угольной поверхности, частицы приобретают положительный заряд, что затрудняет коагуляцию частиц (рис. 3).

Анионные флокулянты, имея отрицательный заряд на кислороде, закрепляются в диффузной части двойного электрического слоя, что обеспечивает высокую коагуляцию угольных частиц при низкой концентрации. В случае повышения концентрации анионного флокулянта в угольной дисперсии скорость коагуляции вначале увеличивается ($C = 1 \text{ мг/г}$), а затем снижается ($C = 3 \text{ мг/г}$), что определяется изменением ζ -потенциала угольной дисперсии и процессом флокуляции угольных частиц.

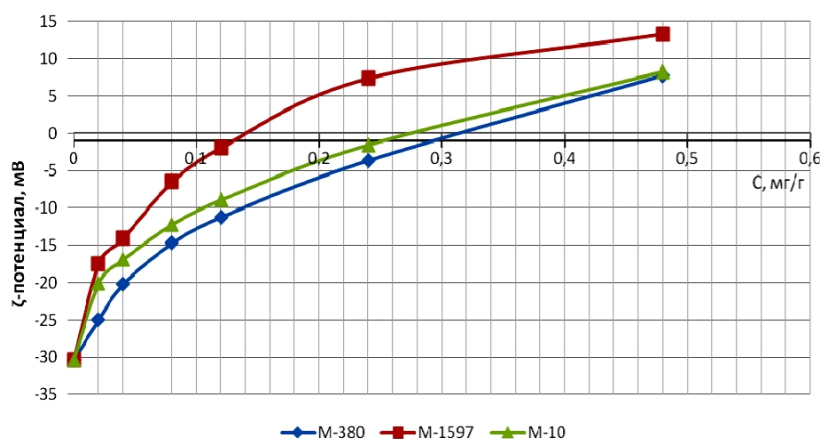


Рис. 3. Зависимость ζ -потенциала от концентрации флокулянта в угольной суспензии

Измерение ζ -потенциала угольной поверхности при различных концентрациях флокулянта позволило установить снижение заряда поверхности угля с 30 мВ до нуля при изменении расхода флокулянтов от нуля до 0,3 мг/г угля. При дальнейшем увеличении расхода флокулянтов от 0,3 до 0,48 мг/г угля происходит перезарядка угольной поверхности.

При этом использование флокулянта М-10 приводит к более значительному изменению заряда угольной поверхности, по сравнению с ка-

тионным флокулянтом М-380. Этот факт может объясняться структурными характеристиками макромолекул полиэлектролитов и макромолекулярным строением органической массы угля, что существенно влияет на величину флоккул и скорость их осаждения.

Исследованием флотации сфлокулированной угольной пульпы установлено снижение выхода концентрата по сравнению с флотиромостью угля без флокуляции угольных пульп.

Изменение флотиромости углей при использовании для сгущения пульпы флокулянтов различной структуры и элементного состава можно объяснить механизмом их адсорбции на угольной поверхности, влияющей на строение двойного электрического слоя и изменение заряда угольной поверхности. Наличие в ОМУ различных структурных фрагментов, включающих в себя кислородсодержащие функциональные группы, простые и сложные эфирные связи, группы $-SH$, а также тиофеновые структуры, обуславливают существенную неравномерность распределения электронной плотности в макромолекулах ОМУ. Это определяет величину и характер электронодонорноакцепторных взаимодействий макромолекул флокулянтов со структурными фрагментами ОМУ.

Заключение

Выполненные исследования позволяют сделать вывод о необходимости использования на УОФ анионных флокулянтов типа Magnafloc-10 с молекулярной массой 14-20 млн а.е.м., что позволит не только снизить содержание твердых частиц в оборотной воде УОФ, но и повысить технологические технико-экономические показатели флотации углей.

Список литературы

1. Байченко А.А., Иванов Г.В. Флокулярная флотация тонких угольных шламов // Материалы науч.-техн. конф., 19-20 ноября 1999. Кемерово, 1999. С. 9-29.
2. Шевченко Т.В. Прикладная коллоидная химия. Флокулянты и коагуляция. Кемерово: КемТип, 2004.
3. Евменова Г.Л., Байченко А.А. Изучение адсорбции полимерных флокулянтов на поверхности частиц дисперсных систем // Вестник Кузбасс. гос. техн. ун-та. 1999. №1. С. 84-86.
4. Петухов В.Н., Субботин В.В., Фролов В.С. Разработка технологического режима флотации сфлокулированных угольных зерен, обеспечивающего высокую эффективность обогащения углей // Кокс и химия. 2013. №10. С. 37-41.

STUDY OF THE INFLUENCE OF FLOCCULANTS PERFORMANCE BY THE ENRICHMENT OF COAL SLURRY

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

Subbotin Vladislav Vladimirovich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: vladsbbotin@yandex.ru.

Abstract. The modern coal preparation businesses constantly face the problem of concentration and dewatering of sludge. Solution of this problem is largely connected with the correct selection of the most efficient flocculants and flotation reagents which provide a high efficiency of the entire plant in the conditions of tightly closed water slurry circuit. The aim of this paper is to investigate the most efficient flocculants to enhance cleaning of recycled water from coal slurry at the coal preparation plant.

This paper presents experimental data on the study of the flotation of coal slurry using different reagents – gatherers after pre-flocculation using Magnafloc type flocculants.

It has been found that the most efficient agent for sludge water purification is M-10 flocculant, which significantly improves the quality of recycled water and increase the yield of the underflow.

Keywords: coal slurry, sludge water, flocculants, precipitation technology, adsorption.

References

1. Baichenko A.A., Ivanov G.V. Floccula flotation of fine coal slurries. Proc.-Technical. Conf., 19-20 November 1999. Kemerovo, 1999, pp. 9-29.
2. Shevchenko T.V. *Prikladnaya kolloidnaya khimiya. Flokulyanty i lokulyatsiya* [Applied Colloid Chemistry. Flocculants and flocculation]. Kemerovo: KemTIP, 2004.
3. Evmenova G.L., Baichenko A.A. Study the adsorption of polymeric flocculants on the surface of dispersed systems. Vestnik Kuzbass State Technical University. 1999, no. 1, pp. 84-86.
4. Petukhov V.N., Subbotin V.V., Frolov V.C. Working out the flotation mode of flocculated coal grains, which provides a high efficiency of coal preparation. *Koks i khimiya* [Coke and Chemistry]. 2013, no. 10, pp. 37-41.

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 624.74.01

ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ХИМИКО-СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В СИНТЕТИЧЕСКИХ ПЕСЧАНЫХ СМЕСЯХ

Смолко В.А., Антошкина Е.Г.

Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Россия

Аннотация. В статье рассмотрены физико-химические процессы, протекающие при формировании структуры и прочности синтетических песчано-глинистых смесей с позиции термодинамики неравновесных процессов. Получена система феноменологических уравнений структурообразования синтетических песчано-глинистых смесей, устанавливающих линейные соотношения между термодинамическими потоками и силами.

Ключевые слова: термодинамика неравновесных процессов, синтетические песчано-глинистые смеси.

Введение

Методы классической термодинамики разработаны для описания равновесных систем. Фактически все реальные системы, в том числе формовочные смеси, открыты, обмен их с внешней средой осуществляется в форме потоков I (энергии, массы и энтропии). Физически эти потоки представляют собой скорости изменения этих величин. Причиной потока является градиент (перепад) интенсивного свойства, который в термодинамике неравновесных процессов (ТНП) называется силой и обозначается через X (градиент концентрации, температуры и т.д.) [1, 2].

В работах [3, 4] были отдельно рассмотрены вопросы расчета производства энтропии и самоорганизации песчано-глинистых смесей (ПГС) при формообразовании. Однако оценка одновременного влияния химических и структурных превращений с позиций термодинамики неравновесных процессов представляет определенный теоретический и практический интерес.

Термодинамика неравновесных процессов содержит в своем аппарате основные положения классической термодинамики и, как феноменологическая наука, ставит перед собой две основные задачи [5]:

1. Исследовать поведение макроскопических систем при неравновесных условиях.

2. Установить взаимную связь различных необратимых явлений.

В работе была поставлена задача рассмотреть совместно химико-структурные превраще-

ния в песчано-глинистых смесях и получить феноменологические уравнения с позиции термодинамики неравновесных процессов, самоорганизации и синергетики в процессе формирования структуры и прочности синтетических песчаных смесей.

Результаты расчета и обсуждение

В процессе формирования структуры и прочности синтетических, песчано-глинистых смесей (ПГС) или песчано-смоляных смесей продукты химического взаимодействия глин, воды и поверхности зерен кварцевого песка – новообразования высокой степени дисперсности под действием сил химической и коллоидно-химической природы коагулируют и агрегируются.

Формирование структуры химически активной дисперсной системы в неравновесных условиях определяется превращениями, происходящими на межфазных поверхностях раздела (взаимодействие жидкой и твердой фаз, химическое диспергирование твердых частиц, коагулирование продуктов реакции, конденсация, образование капиллярной пористости и т.д.). Поэтому, применяя положения термодинамики неравновесных процессов (ТНП) И.Р. Пригожина [6] для описания возникновения энтропии подобной системы, следует дополнить параметры, учитывающие явления, протекающие на поверхности раздела:

$$d_i S = - \frac{\sum_i \mu_i dn_i}{T} - \frac{\sum_j f_j d\Omega_j}{T}, \quad (1)$$

где $d_i S$ – приращение энтропии; μ_i – химический потенциал компонента; dn_i – число моль i -го компонента; F – свободная энергия Гельмгольца, отнесенная к площади разделяющей поверхности Ω $\left(f = \frac{F}{\Omega}\right)$.

Изменение этой энергии по массе в изохорно-изотермических условиях – это химический потенциал:

$$\left[\frac{\delta F}{\delta n_i}\right]_{T,V,n_{j \neq i}} = \mu_i, \text{ откуда} \quad (2)$$

$$\frac{1}{\Omega} \left[\frac{\delta F}{\delta n_i}\right]_{T,V,n_{j \neq i}} = f_i = \mu_{oi}, \quad (3)$$

где μ_{oi} – химический потенциал, отнесенный к разделяющей поверхности или к контактному поверхностному слою.

Первое слагаемое в уравнении (1), выражающее необратимое изменение энтропии вследствие химических превращений, может быть преобразовано:

$$(d_i S)_\xi = -\frac{\sum \mu_i dn_i}{T} = \frac{A_\xi d\xi}{T}, \quad (4)$$

где ξ – степень завершенности химической реакции; $d_\xi = \frac{dn_B}{v_B}$ (n_B – количество вещества,

v_B – стехиометрический коэффициент этого вещества); A – химический потенциал реакции по Де Донде [1]:

$$A = A(T, V, \xi) \text{ или } A = A(T, P, \xi),$$

исходя из этого $dG = -SdT + VdP - Ad\xi$

$$\text{или } G = G(P, T, \xi), \quad A = -\left[\frac{dG}{d\xi}\right]_{T,P}$$

$$\text{или } A = -\sum_i v_{i\mu i}.$$

В работе [5] были разработаны принципы описания структурообразования дисперсных систем на основании положений ТНП. При этом теоретические представления, развитые авторами этих работ, согласно которым по своей физической природе и термодинамическому смыслу процесс структурообразования адекватен хими-

ческим реакциям, позволяют описать соответствующее изменение энтропии термодинамической парой: структурным сродством A_η и степенью завершенности структурообразования η , то есть аналогично (4):

$$(d_i S)_\eta = \frac{A_\eta d\eta}{T}. \quad (5)$$

Вместе с тем было высказано мнение, что химическое A_ξ и структурное A_η сродство составляют единое полное сродство – движущую силу процесса структурообразования:

$$A = A_\xi + A_\eta. \quad (6)$$

Проанализируем уравнение (1), начав со второго слагаемого. Из уравнения (1) с учетом (3) имеем:

$$(d_i S)_\eta = -\frac{\sum_j f_j d\Omega}{T} = \frac{A_{\eta_j} d\eta}{T}, \quad (7)$$

$$A_{\eta_j} = -\sum_j v_{\eta_j} f_j = -\sum_j v_{\eta_j} \mu_{oi}, \quad (8)$$

где A_{η_j} – структурное сродство; v_{η_j} – стехиоструктурный коэффициент, который в отличие от стехиометрического коэффициента v_η является константой не массы, а площади разделяющей поверхности. Тогда степень завершенности структурообразования определяется изменением этой площади, т.е.

$$0 \leq \eta = \frac{\Omega}{\Omega_k} \leq 1, \quad (9)$$

где Ω_k – площадь кванта.

Физический смысл структурного сродства заключается в том, что в результате протекания реакций гидратации в дисперсной системе появляются все новые разделяющие поверхности «твердая фаза – жидкость» и «жидкость – газ». На этих поверхностях развиваются и действуют различные межмолекулярные силы, которые определяют суммарную избыточную поверхностную свободную энергию $\sum_j f_j$. Анализируя

процессы формирования структуры, можно выделить составляющие свободной энергии, обусловленные: а) действием лапласовых сил (f_L);

б) перекрытием силовых полей противоположащих твердых поверхностей (расклинивающее давление Дерягина) (f_D); в) дополнительной свободной энергии тонких пленок жидкости (f_h); г) развитием электрохимических явлений (f_e). Тогда сумма энергий в уравнении (8) составит

$$\sum_j f_j = f_L + f_D + f_h + f_e. \quad (10)$$

Очевидно, что составляющие баланса (10) тем больше, чем выше дисперсность твердой фазы в системе. Например, при замене огнеупорной каолиновой саткинской или нижеуфельской глины на бентонит с большой дисперсностью приводит к повышению прочности на 30-40%. Механизм формирования структуры в значительной мере будет определяться удельной поверхностью новообразований.

Агрегирование продуктов химических реакций заключается в формировании в объемах метастабильной системы новой конфигурации с устойчивым для данной системы состоянием. Конфигурации пространственной структуры также способны к изменению объема только под действием термодинамической движущей силы, определяемой изменением свободной энергии системы F (энергии Гельмгольца), образующая величина которой в рассматриваемом случае будет определяться следующими факторами:

- высвобождением свободной энергии F_1 , вследствие образования агрегата продуктов реакции объемом $V = \sum n_{ji} V_i$, имеющего меньшую, чем исходная фаза, свободную энергию;
- расходом свободной энергии F_2 на формировании новой разделяющей поверхности при образовании агрегативной конфигурации и ее росте в объеме метастабильной фазы;
- расходом свободной энергии F_3 на уплотнение образовавшейся агрегативной конфигурации.

Следовательно, общее приращение свободной энергии Гельмгольца, определяющее интенсивность структурных превращений, равно:

$$F = -F_1 + F_2 + F_3. \quad (11)$$

Баланс свободной энергии (11) определяет закономерности формирования структуры синтетических смесей. Очевидно, что только при выполнении условия

$$F_1 \leq F_2 + F_3 \quad (12)$$

в системе происходит формирование упорядо-

ченной структуры, определяемой убылью свободной энергии, так как величина F_1 связана с химическими процессами взаимодействия.

Если продифференцировать по времени уравнение (1), определяющее изменение энтропии системы, в которой одновременно развиваются химические и структурные превращения, то с учетом уравнений (4), (5) получим:

$$\frac{d_i S}{d\tau} = \frac{A_{\xi \cdot d_{\xi}}}{T \cdot d\tau} + \frac{A_{\eta} \cdot d_{\eta}}{T \cdot d_{\tau}}, \quad (13)$$

где $\frac{d_i S}{d\tau}$ – производство энтропии. Откуда может быть получена система феноменологических уравнений, устанавливающих линейные соотношения между термодинамическими потоками (скоростями) и силами (сродствами):

$$I_{\xi} = L_{\xi\xi} \cdot X_{\xi} + L_{\xi\eta} \cdot X_{\eta}; \quad (14)$$

$$e I_{\eta} = L_{\eta\xi} \cdot X_{\xi} + L_{\eta\eta} \cdot X_{\eta}, \quad (15)$$

где (опускаем знаки суммирования и индексы i, j) и получим:

$$I_{\xi} = \frac{1}{v_{\xi}} \cdot \frac{d_{n\xi}}{d_{\tau}} - \quad (16)$$

скорость химической реакции, записанная в форме, соответствующей методу Де Донде [1];

$$I_{\eta} = \frac{1}{v_{\eta}} \cdot \frac{d\Omega}{d_{\tau}} - \quad (17)$$

скорость структурообразования;

$$X_{\xi} = -v_{\xi} \cdot \frac{\mu}{T} = \frac{A_{\xi}}{T} - \quad (18)$$

термодинамическая движущая сила химической реакции (химическое сродство);

$$X_{\eta} = -v_{\eta} \cdot \frac{f}{T} = \frac{A_{\eta}}{T} - \quad (19)$$

термодинамическая движущая сила структурообразования (структурное сродство); $L_{\xi\xi}$ и $L_{\eta\eta}$ – феноменологические коэффициенты, определяющие соответственно химическую и структурную «проводимость» системы; $L_{\xi\eta}$ и $L_{\eta\xi}$ – феноменологические коэффициенты, определяющие

перекрестные эффекты взаимодействия соответственно химических и структурных процессов.

Тогда в окончательном виде скорость взаимодействующих элементарных термодинамических процессов записывается в виде:

$$\frac{i}{v_{\xi}} \cdot \frac{dn_{\xi}}{d\tau} = L_{\xi\xi} \cdot \frac{v_{\xi} \cdot \mu}{T} + L_{\xi\eta} \cdot \frac{v_{\eta} \cdot f}{T}; \quad (20)$$

$$\frac{i}{v_{\eta}} \cdot \frac{d\Omega}{d\tau} = L_{\eta\xi} \cdot \frac{v_{\xi} \cdot \mu}{T} + L_{\eta\eta} \cdot \frac{v_{\eta} \cdot f}{T}. \quad (21)$$

Уравнения (18), (19) позволяют оценить взаимодействия химических и структурных превращений. Вместе с тем, записав систему уравнений (14), (15) и применив ее для анализа физико-химических явлений в процессе формирования структуры (20), (21), *a priori* будем исходить из того, что выполняется принцип взаимности Онзагера-Казимира [6] (принцип макроскопической обратимости), согласно которому матрица коэффициентов всегда ассиметрична, то есть

$$L_{\xi\eta} = L_{\eta\xi}. \quad (22)$$

Применительно к случаю протекания химических реакций, например для ПСС, это означает, если на скорость необратимой химической реакции I_{ξ} влияет сила необратимого процесса структурообразования X_{η} , то сила химической реакции X_{ξ} действует на скорость структурообразования I_{η} с тем же коэффициентом $L_{\xi\eta}$.

Так как скорость изменения (производства) энтропии определяется уравнением (13), то можно записать

$$\frac{d_i S}{d\tau} = I_{\xi \cdot X_{\xi} + I_{\eta} \cdot X_{\eta}}, \quad (23)$$

в котором зависимость I от X определяется феноменологическими уравнениями (14) и (15) с учетом взаимности Онзагера (22) и условия стационарности для химического процесса:

$$I_{\xi} = 0, \quad (24)$$

$$\text{или } I_{\xi} = L_{\xi\eta} \cdot X_{\eta} + L_{\xi\xi} \cdot X_{\xi} = 0. \quad (25)$$

Из уравнений (14), (19), (23) и (25) получим условие экстремума (минимума) производства энтропии при заданной постоянной обобщающей силе:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial \cdot X_{\xi}} \cdot \left(\frac{d_i S}{d\tau} \right) &= \\ &= L_{\xi\eta} \cdot X_{\eta} + L_{\eta\eta} \cdot X_{\xi} = I_{\xi}. \end{aligned} \quad (26)$$

Следовательно, обращение в ноль потока вещества (24), (25) эквивалентно условию экстремума

$$\frac{\partial}{\partial \cdot X_{\xi}} \left(\frac{d_i S}{d\tau} \right) = 0. \quad (27)$$

Это означает, что система переходит в состояние с наименьшей диссипацией [6].

Стационарное состояние – состояние с минимальным производством энтропии, поэтому вопрос заключается в том, как изменяется во времени производство энтропии I_S в системе с внутренними необратимыми превращениями, если данная система стремится к стационарному состоянию. В стационарном состоянии $I_S \rightarrow \min$. Следовательно, для достижения состояния «наименьшей диссипации» необходимо, чтобы производство энтропии

$$T \cdot \frac{d_i S}{d\tau} \leq 0 \quad (28)$$

должно уменьшаться до равновесия.

В нелинейной области (а именно нелинейность определяет процессы структурообразования в дисперсных системах) стационарные состояния неустойчивы, развитие системы определяется флуктуациями и возмущениями и изменениями производства энтропии, обусловленными соответствующими изменениями термодинамической движущей силы X_i (сродство процесса), могут быть как положительными, так и отрицательными. Текущее равновесие характеризуется конечным производством энтропии

$$d_i S > 0, \quad (29)$$

что соответствует условию необратимого термодинамического процесса. Вместе с тем условие (28) не позволяет судить о том, как далеко находится система от равновесного состояния, под которым понимается конечное состояние термодинамической эволюции, в нашем случае это соответствует полностью сформированной дисперсной структуре синтетической смеси.

Заключение

На основе термодинамики неравновесных процессов с учетом одновременно протекающих химических и структурных превращений получена система феноменологических уравнений, устанавливающих соотношения между термодинамическими потоками (скоростями) и силами (сродства), которые позволяют оценить вклад химических связей, производства энтропии и структурирования при формировании структуры и прочности песчано-глинистых смесей. С этих позиций синтетические песчаные смеси следует рассматривать как полиминеральные, термодинамически неравновесные, диссипативные системы, обладающие многофункциональностью физико-химических и технологических свойств.

Список литературы

1. Хакен Г. Информация и самоорганизация: макроскопический подход к сложным системам. М.: Мир, 1991. 240 с.
2. Пригожин И.Р. Введение в термодинамику необратимых процессов. М.: ИЛ, 1960. 127 с.
3. Смолко В.А., Груба О.Н. Расчет производства энтропии процессов, протекающих в синтетических песчано-глинистых смесях // Труды пятого съезда литейщиков России: сб. науч. тр. М.: Изд-во «Радуница», 2001. С. 348-352.
4. Смолко В.А., Груба О.Н. Структурирование формовочных смесей в процессе их самоорганизации при формообразовании // Литейные процессы: сб. науч. тр. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2003. С. 107-112.
5. Полак Л.С., Михайлова А.С. Самоорганизация в неравновесных физико-химических системах. М.: Наука, 1983. 288 с.
6. Пригожин И.Р., Кондепуди Д. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур. М.: Мир, 2002. 461 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

PHENOMENOLOGICAL CHEMICAL AND STRUCTURAL TRANSFORMATIONS IN SYNTHETIC SAND MIXTURES

Smolko Vitaly Anatolyevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Head of Inorganic Chemistry Department, FSFEI HPE South Ural State University (National Research University), Russia. Phone: (351) 267-93-76. E-mail: smolko-2007@mail.ru.

Antoshkina Elizaveta Grigoryevna – Ph.D (Eng.), Associate Professor, FSFEI HPE South Ural State University (National Research University), Russia. Phone: (351) 267-93-76. E-mail: aeg-2007@mail.ru.

Abstract. The article describes the physical and chemical processes occurring during the formation of the structure and strength of the synthetic sand-clay mixtures from a position of nonequilibrium thermodynamics. The authors obtained the system of phenomenological equations of structure forming in synthetic sand-clay mixtures, establishing the relationship between the thermodynamic fluxes and forces.

Keywords: nonequilibrium thermodynamics, synthetic sand-clay mixtures.

References

1. Haken H. Information and self-organization: the macroscopic approach to the complex systems. Moscow: World publishing house, 1991. 240 p.
2. Prigogine I.R. Introduction to the thermodynamics of irreversible processes. Moscow, 1960. 127 p.
3. Smolko V.A., Gruba O.N. Calculation of entropy production processes occurring in the synthetic sand-clay mixtures. *Trudy pyatogo s'ezda liteyshchikov Rossii: sb. nauch. tr.* [Proceedings of the Fifth Congress of the Russian moulders]. Moscow: Publishing house «Radunitsa», 2001, pp. 348-352.
4. Smolko V.A., Gruba O.N. Structuring of molding compounds in the process of their self-organization by forming. *Litejnye protsessy: sb. nauch. tr.* [Foundry processes]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2003, pp. 107-112.
5. Polak L.S., Mikhailova A.S. *Samoorganizatsiya v neravnovesnykh fiziko-khimicheskikh sistemakh* [The self-organization in irreversible physical and chemical systems]. Moscow: Nauka, 1983. 288 p.
6. Prigogine I.R., Kondepudi D. *Sovremennaya termodinamika. Ot teplovykh dvigatelej do dissipativnykh struktur* [Modern Thermodynamics. From thermal engines to the dissipative structures]. Moscow: World publishing house, 2002. 461 p.

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.771

ОЦЕНКА ПРИЧИН И РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ ПРЕОДОЛЕНИЯ НЕУСТОЙЧИВОСТИ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ НА НЕПРЕРЫВНОМ СТАНЕ 2000 ОАО «ММК»

Румянцев М.И.¹, Шубин И.Г.¹, Горбунов А.В.², Лукьянов С.А.²,
Митасов В.С.¹, Насонов В.В.², Егоров В.Н.¹

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

² Магнитогорский металлургический комбинат, Россия

Аннотация. В статье выполнено сравнение параметров стабильных и нестабильных режимов при прокатке стали СтЗпс методами математической статистики. На основе анализа результатов сравнения разработано несколько режимов для различной толщины подката в соответствии с различными стратегиями. С учётом известных ограничений выбирается требуемая толщина подката и оптимальный режим прокатки.

Ключевые слова: статистика, вибрация, холодная прокатка, автоматизированное проектирование, стратегия прокатки.

Введение

В период освоения совмещённого травильно-прокатного агрегата 2000 ЛПЦ-11 ОАО «ММК» [1] была затруднена прокатка полос стали СтЗп с размерами 0,35x1275 мм. В частности, наблюдалась повышенная обрывность полос, а при достижении скорости 450 м/мин появлялся низкий звук, который, как известно, является одним из проявлений вибрации в рабочих клетях [2]. Так как известно, что появление вибрации может быть связано с режимами прокатки, выполнили сравнение режимов, при которых достижение требуемой скорости прокатки было затруднено (27 рулонов), с режимами, при прокатке которых была достигнута скорость 670 м/мин (53 рулона).

Техническая разработка

Оценку различий параметров устойчивого и неустойчивого процессов выполняли в среде MS Excel с применением инструмента «Двухвыборочный t-тест с различными дисперсиями» из надстройки «Анализ данных». В соответствии с данной методикой [3], на основании средних значений и стандартных отклонений сравниваемых выборок, вычисляют t -статистику и сравнивают ее с односторонним t_α и двусторонним

$t_{\alpha/2}$ критическими значениями распределения Стьюдента (здесь α – уровень значимости). Если выполняются условия $|t| \geq t_\alpha$ или $|t| \geq t_{\alpha/2}$, то отличия средних в сравниваемых выборках являются существенными. Сначала критические значения распределения Стьюдента находили при доверительной вероятности 95%, что соответствует уровню значимости $\alpha = 5\%$ (или $=0,05$). В случае, когда условия существенности различия средних не выполняются, но значения рассчитанного t и табличных (t_α или $t_{\alpha/2}$) чисел Стьюдента близки, понижали доверительную вероятность и повторяли тест. Результаты оценивания приведены в табл. 1.

Сравнение распределений обжатий (рис. 1, а) показало, что в 1, 3 и 5 клетях обжатия в неустойчивом процессе превышают значения, которые наблюдались в устойчивом процессе. В 2 и 4 клетях обжатия в неустойчивом процессе, наоборот, меньше, чем при устойчивом процессе. Для клеток 1, 2 и 4 эти различия являются существенными с доверительной вероятностью 95%, для клетки 3 и 5 с доверительными вероятностями 88 и 92% соответственно (табл. 1).

Натяжения на входе в клеть 1 и в том, и в ином случае приблизительно равны (рис. 1, а),

так же как и натяжения между 5 клетью и моталкой (рис. 1, б). В то же время межклетевое натяжение при неустойчивом процессе больше, чем при устойчивом. Для всех клетей натяжение на входе, а для клетей 1-3 натяжение на выходе имеет существенные различия с доверительной вероятностью 95%. Натяжение на выходе клетей 4 и 5 имеет существенные различия при доверительными вероятностями 86 и 88% соответственно (см. табл. 1).

Указанные особенности режимов обжатия и натяжений проявляются в отличиях распределения усилий прокатки (рис. 1, г). В обоих случаях усилия прокатки от клетки 1 до клетки 4 возрастают, а в клетки 5 резко снижаются. Однако в клетях 3 и 5 усилия прокатки при неустойчивом процессе больше, чем при устойчивом, и указанные различия являются значимыми с доверительной вероятностью 95% (см. табл. 1).

Результаты анализа дали основание предпо-

ложить, что для обеспечения устойчивости процесса необходимо изменить режим обжатий, а также снизить межклетевые натяжения. При этом указанная коррекция должна обеспечить разгрузку клетей 3 и 5 по усилию прокатки.

Для совершенствования режима прокатки выполнили автоматизированное проектирование с применением программы CRCAD [4]. Рассматривали прокатку из подката толщиной 1,6; 1,8 и 2,0 мм по 2 вариантам. В первом варианте (P1) обжатия распределялись таким образом, чтобы обеспечить максимальное значение коэффициента выравнивания продольной разнотолщинности. Прокатанный по таким режимам металл будет иметь наиболее высокую точность по толщине. Во втором варианте (P2) обжатия распределялись таким образом, чтобы разогрев металла в результате пластической деформации был минимальным. При прокатке по таким режимам уменьшается вероятность образования дефектов поверхности проката, обусловленных термической деструкцией технологической смазки. Также были выполнены расчеты параметров прокатки по режиму неустойчивого процесса (далее – P3).

В отличие от режима, который использовался на стане (на всех графиках ему соответствует линия 3), для разработанных режимов характерны пониженные обжатия в клетях 1 и 4 при более высоких обжатиях в клетях 2 и 3 (рис. 2). В последней, пятой, клетки обжатия по всем режимам практически совпадают.

Таблица 1

Статистические оценки результатов сравнения параметров

Оценка	Клеть 1		Клеть 2		Клеть 3		Клеть 4		Клеть 5	
	A	Б	A	Б	A	Б	A	Б	A	Б
Обжатие, %										
$\bar{X}$	29,6	28,1	31,7	33,0	33,3	31,4	20,5	31,9	7,4	5,7
S	4,25	0,48	8,38	1,29	8,07	1,15	8,47	0,99	4,43	0,96
t	2,363		-1,093		1,662		-8,999		1,935	
t_{α}	1,675		1,674		1,188 ⁸⁶⁾		1,678		1,445 ⁹²⁾	
$t_{\alpha/2}$	2,007		2,005		1,580 ⁸⁸⁾		2,012		1,819 ⁹²⁾	
Заднее натяжение, Н/мм ²										
$\bar{X}$	90,2	89,0	208,6	169,0	243,6	194,6	296,4	222,8	282,5	264,7
S	11,1	8,0	32,2	10,4	57,0	12,3	87,9	13,2	96,7	15,2
t	0,771		8,022		5,824		5,570		0,929	
t_{α}	1,676		1,668		1,672		1,677		1,706	
$t_{\alpha/2}$	2,009		1,996		2,002		2,011		2,056	
Переднее натяжение, Н/мм ²										
$\bar{X}$	208,6	169,0	243,1	194,6	280,7	222,8	288,4	264,7	70,4	63,5
S	32,2	10,4	56,6	12,3	104,4	13,2	100,1	15,2	21,0	2,4
t	8,022		5,850		3,863		1,576		1,675	
t_{α}	1,668		1,672		1,675		1,092 ⁸⁶⁾		1,203 ⁸⁸⁾	
$t_{\alpha/2}$	1,996		2,002		2,007		1,500 ⁸⁶⁾		1,608 ⁸⁸⁾	
Усилие прокатки, МН										
$\bar{X}$	13,22	13,15	13,11	13,16	15,50	14,04	17,38	17,77	9,01	6,66
S	1,52	1,00	1,49	0,31	3,16	0,67	5,04	1,32	2,03	1,71
t	0,263		-0,236		3,123		-0,504		4,531	
t_{α}	1,666		1,672		1,672		1,673		1,677	
$t_{\alpha/2}$	1,993		2,002		2,002		2,004		2,010	
Примечания:										
$\bar{X}$ и S – среднее выборочное значение и выборочное стандартное отклонение;										
86), 88) и 92) – значения доверительной вероятности,										
при которых средние значения сравниваемых выборок могут быть признаны различающимися существенно.										

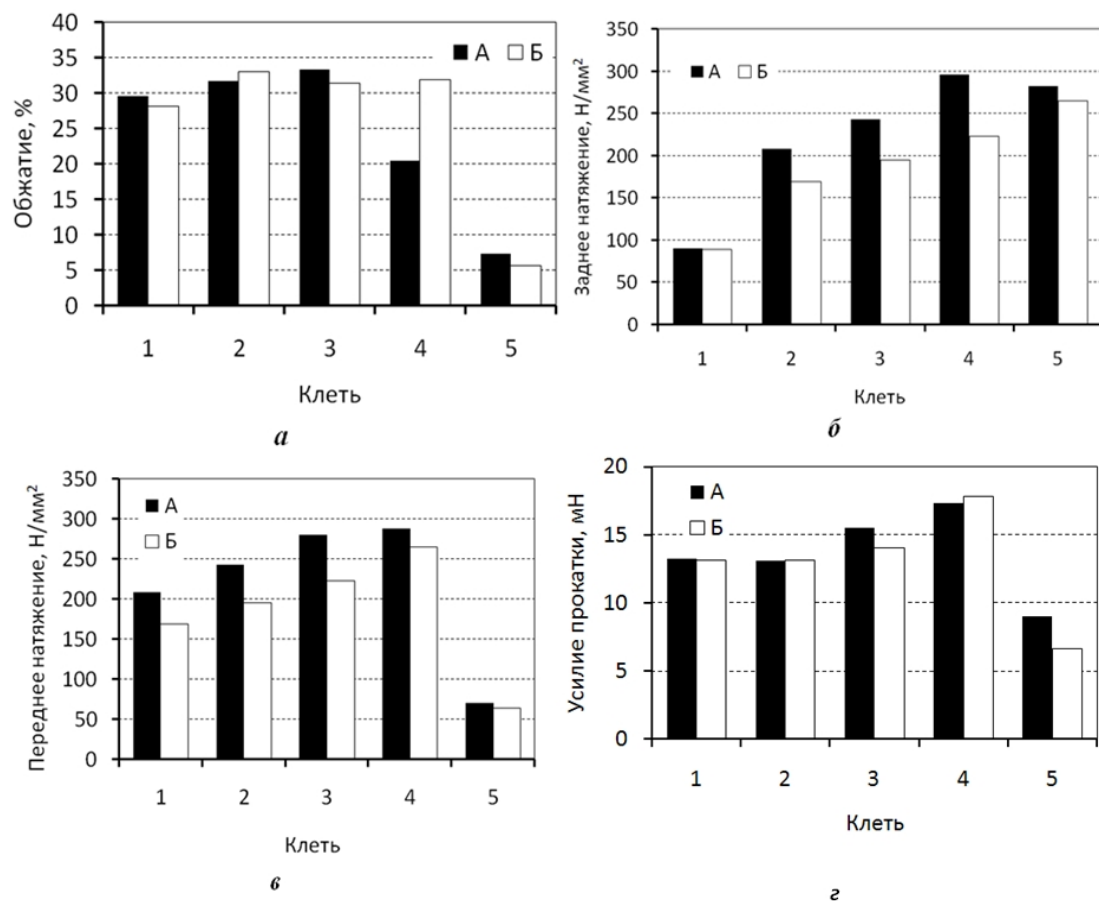


Рис. 1. Распределения обжатий (а), натяжений (б, в) и усилий прокатки (г) при устойчивом (А) и неустойчивом (Б) процессах

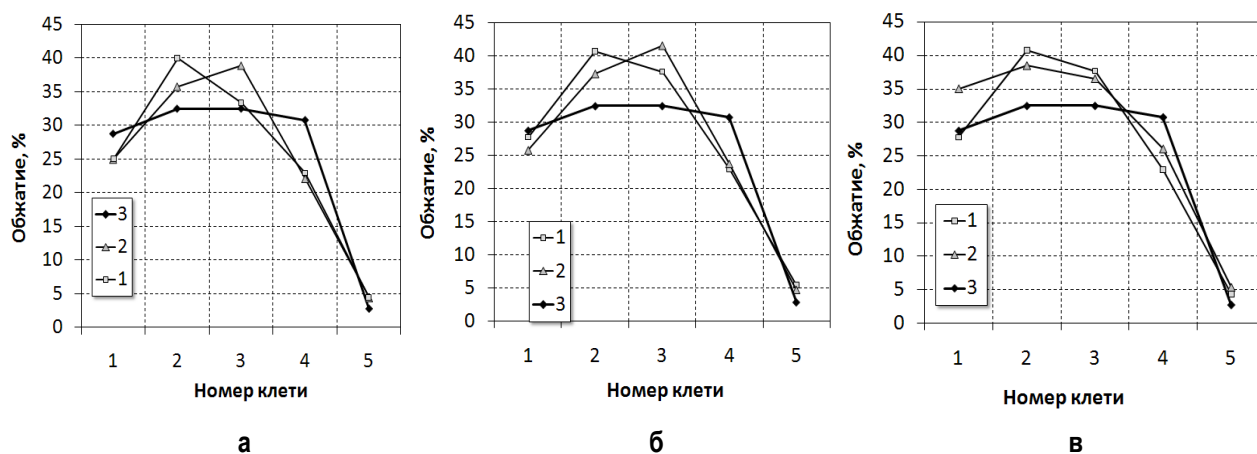


Рис. 2. Режимы обжатий при прокате полосы 0,35×1275 мм стали СтЗпс из подката толщиной 1,6 (а); 1,8 (б) и 2,0 (в): 1 – по стратегии наибольшего выравнивания разнотолщинности (Р1); 2 – по стратегии минимального разогрева (Р2); 3 – фактическая прокатка на стане из подката толщиной 1,6 мм (Р3)

Особенностью предлагаемых режимов является применение более низких натяжений (линии 1 и 2 на **рис. 3**). В действующем режиме (линия 3) межклетевые натяжения возрастают от 200 Н/мм² в первой клетке до 290 в четвертой и снижаются до 70 Н/мм² на выходе из клетки 5. При этом на выходе из клетки 1 натяжение достигает 0,44 от предела текучести, а от клетки 2 до клетки 4 уровень натяжения возрастает от 0,32 до 0,38. Такой режим натяжений создаёт предпосылки к порывам полосы в межклетевых промежутках (максимальным допустимым значением уровня натяжений считают 0,35) [5]. В разработанных режимах натяжения также возрастают от клетки 1 к клетке 4, но их величине (150-200 Н/мм²) соответствует более низкий уровень натяжения (0,25-0,35), что снижает вероятность обрывов полосы.

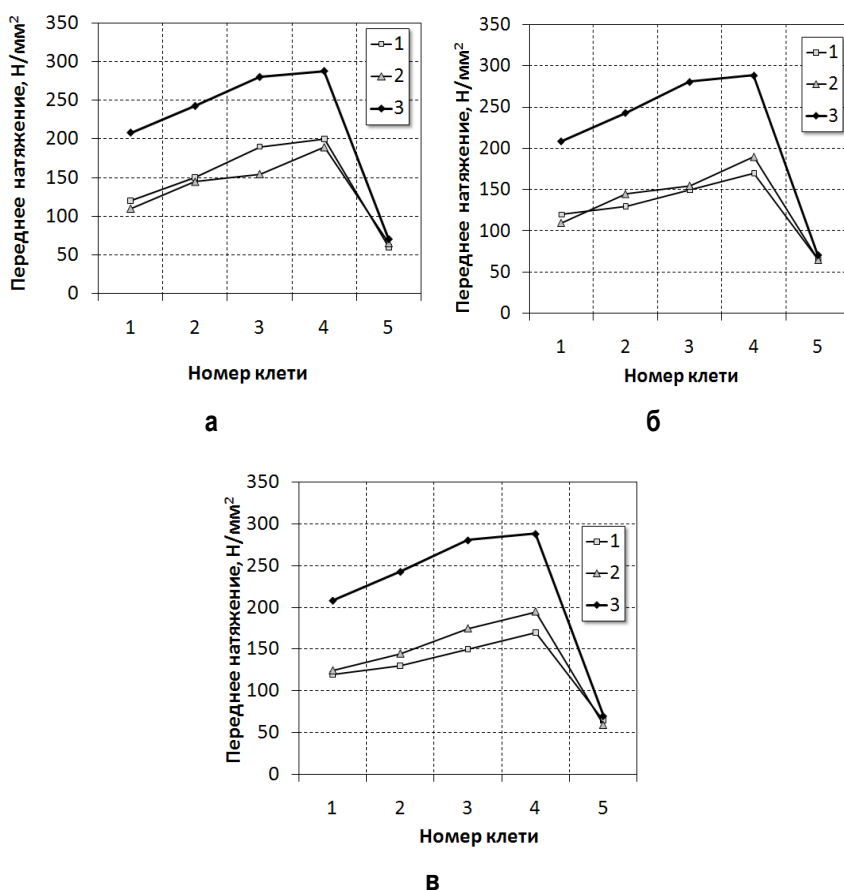


Рис. 3. Режимы натяжений при прокатке полосы 0,35×1275 мм стали СтЗпс из подката толщиной 1,6 (а); 1,8 (б) и 2,0 (в): 1 – по стратегии наибольшего выравнивания разнотолщинности (Р1); 2 – по стратегии минимального разогрева; 3 – фактическая прокатка на стане из подката толщиной 1,6 мм

Существенным ограничением на скорость холодной прокатки является термическая стойкость технологической смазки. Известно [6], что

если температура металла превысит 180-200°C, то смазочные свойства эмульсии ухудшаются, а на отдельных участках поверхности контакта могут возникать условия сухого трения. Наличие подобных участков может стать источником вибрации в системе «валки-полоса» [7].

В режимах, разработанных по стратегии минимального разогрева, максимальная температура полосы прогнозируется в пределах от 160 до 170°C (линии 2 на **рис. 4**). В случае применения подката толщиной 1,8-2,0 мм такой эффект достигается при скорости прокатки не более 600 м/мин. Прокатка по данной стратегии из подката толщиной 1,6 мм возможна со скоростью до 840 м/мин.

В режимах, разработанных по стратегии максимального выравнивания разнотолщинности (линия 1 на **рис. 4**), ограничение по температуре полосы выполняется при более высоких скоростях (990, 840 и 660 м/мин для подката толщиной 1,6; 1,8 и 2 мм соответственно).

Другим источником вибраций в системе «валки-полоса» могут быть кратковременные пробуксовки рабочих валков по полосе. Характеристикой устойчивости процесса против пробуксовки приняли отношение нейтрального угла γ к углу захвата α . Пробуксовка наступает, когда $\gamma/\alpha = 0$ [8]. Оценка устойчивости процесса против пробуксовки рабочих валков (**рис. 5**) показывает, что при использовании подката толщиной 1,8 мм стратегия наибольшего выравнивания разнотолщинности (линия 2 на **рис. 5, б**) в клетях 1 и 2 повышает отношение нейтрального угла к углу контакта до 0,12-0,15, в то время как в других случаях для тех же клеток находится в пределах 0,10-0,12. Следовательно, режим прокатки полос толщиной 0,35 мм из подката 1,8 мм по режиму наибольшего выравнивания продольной разнотолщинности обладает наиболее высоким

запасом устойчивости против пробуксовки рабочих валков. Итоговые показатели прокатки по различным режимам представлены в **табл. 2**.

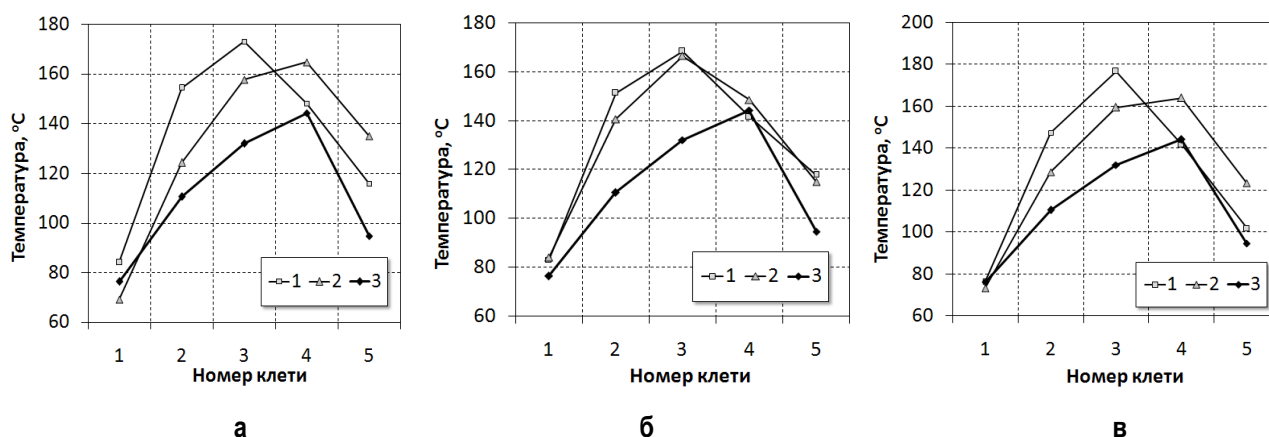


Рис. 4. Температура металла при прокатке полосы 0,35×1275 мм стали Ст3пс из подката толщиной 1,6 (а), 1,8 (б) и 2,0 (в): 1 – по стратегии наибольшего выравнивания разнотолщинности (P1); 2 – по стратегии минимального разогрева (P2); 3 – фактическая прокатка на стане из подката толщиной 1,6 мм

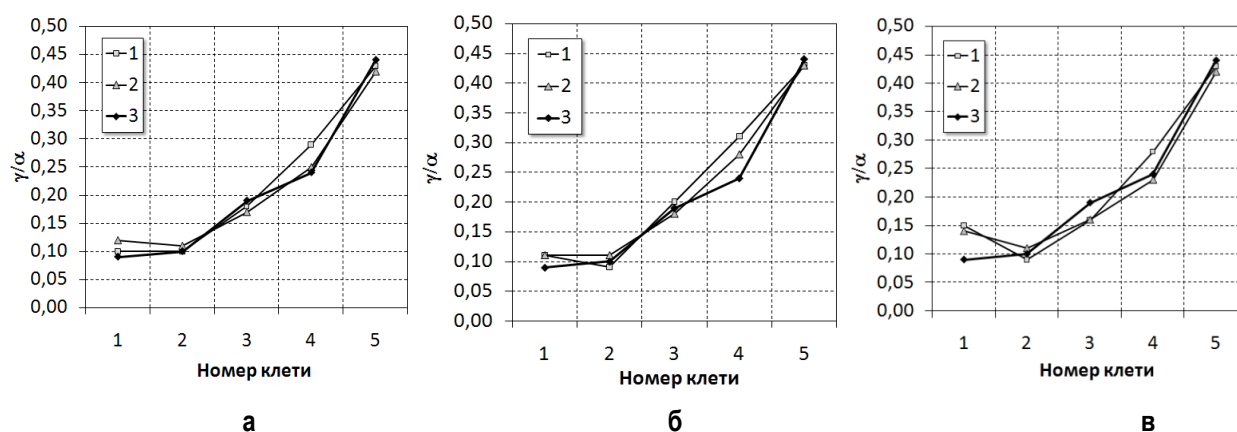


Рис. 5. Запас устойчивости против пробуксовки рабочего вала при прокатке полосы 0,35×1275 мм стали Ст3пс из подката толщиной 1,6 (а), 1,8 (б) и 2,0 (в): 1 – по стратегии наибольшего выравнивания разнотолщинности (P1); 2 – по стратегии минимального разогрева; 3 – фактическая прокатка на стане из подката толщиной 1,6 мм

Таблица 2

Оценки режимов прокатки полосы 0,35×1275 мм из стали Ст3пс

Толщина подката, мм	Скорость, м/мин				Общий коэффициент выравнивания		Максимальная температура, °С		Минимальное отношение γ/α	
	травления		прокатки							
	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Режим прокатки на стане										
1,6	210		630		0,825		148		0,10	
Разработанные режимы прокатки										
1,6	210	210	990	840	0,915	0,921	166	169	0,10	0,12
1,8			840	600	0,914	0,939	174	173	0,10	0,13
2,0			660	600	0,894	0,991	177	161	0,11	0,11

Наиболее результативным можно считать режим прокатки по стратегии выравнивания продольной разнотолщинности из подката толщиной 1,8 мм. Для него характерны достаточно высокие скорость прокатки (840 м/мин) и общий коэффициент выравнивания (0,939). Такой режим обладает наиболее высокой устойчивостью против пробуксовки валков в первых двух клетях ($\gamma/\alpha \geq 0,13$) при допустимом разогреве металла ($t_{max}=170-180^{\circ}\text{C}$).

Вывод. На основании статистического сравнения параметров устой-

чивого и неустойчивого процессов холодной прокатки тонких полос на стане 2000, совмещенном с непрерывным травильным агрегатом, выявлены направления совершенствования режимов прокатки с целью предотвращения причин вибрации рабочих клетей стана. С применением автоматизированного проектирования разработан режим прокатки полосы 0,35×1275 мм из стали Ст3пс, обеспечивающий снижение обрывности, а также достаточно высокую устойчивость против пробуксовки валков при допустимом разогреве металла, что позволяет повысить скорость прокатки с 450 до 840 м/мин.

Список литературы

1. Опыт освоения производства холоднокатаного проката в ЛПЦ-11 / Ласьков С.А., Горбунов А.В., Лукьянов С.А., Голубчик Э.М., Румянцев М.И. // Совершенствование технологии в ОАО «ММК»: сб. науч. тр. Вып. 16. Магнитогорск: ОАО «Полиграфия», 2011. С. 299-302.
2. Гарбер Э.А. и др. Исследование причин возникновения колебаний в клетях непрерывных прокатных станов // Производство проката. 2003. №1. С. 10-12.
3. Статистика. Теория и практика в Excel / Лялин В.С., Зверева И.Г., Никифорова Н.Г. М.: Финансы и статистика, 2010. 448 с.
4. Моделирование процесса холодной прокатки с целью разработки технологий производства высокопрочного холоднокатаного проката для автомобилестроения / Румянцев М.И., Митасов В.С., Горбунов А.В. // Совершенствование технологии в ОАО «ММК»: сб. науч. тр. №14. Магнитогорск, 2009. С. 322-332.
5. Методы выбора режимов и расчёта параметров при автоматизированном проектировании тонколистовой прокатки / Салганик В.М., Медведев Г.А., Румянцев М.И. и др. // Труды третьего конгресса прокатчиков. М.: Металлургия, 1979. 232 с.
6. Кузнецов Л.А. Применение УВМ для оптимизации тонколистовой прокатки. М.: Металлургия, 1988. 304 с.
7. Пименов В.А. О причинах нарушения устойчивости холодной прокатки // Изв. вузов. Чёрная металлургия. 1990. №8. С. 36-38.
8. Василёв Я.Д. Инженерные модели и алгоритмы расчёта параметров холодной прокатки. М.: Металлургия, 1995. 368 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

ASSESSMENT OF THE CAUSES AND DEVELOPMENT OF THE MEASURES FOR OVERCOMING THE COLD ROLLING INSTABILITY ON CONTINUOUS MILL 2000 OF OJSC MMK

Rumyantsev Mikhail Igorevich – Ph.D. (Eng), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: mihigrum@rambler.ru.

Shubin Igor Gennadievich – Ph.D. (Eng), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: Shubin64@mail.ru.

Gorbunov Andrey Victorovich – Head of Laboratory of High-strength Steels, Magnitogorsk Iron and Steel Works OJSC, Russia. E-mail: Gorbunov.av@mmk.ru.

Lukyanov Sergey Anatolievich – Deputy Head of the Cold Complex, Magnitogorsk Iron and Steel Works OJSC, Russia. E-mail: lukyanov.sa@mmk.ru.

Mitasov Vladimir Sergeevich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: v.s.mitasov@gmail.com.

Nasonov Vadim Vyacheslavovich – Engineer of Cold Rolling Laboratory, Magnitogorsk Iron and Steel Works OJSC, Russia. E-mail: Nasonov.vv@mmk.ru.

Egorov Viktor Nikolaevich – Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: EgorovVN74@yandex.ru.

Abstract. This paper compares parameters of stable and unstable rolling modes for St3ps steel grade applying methods of mathematical statistics. Based on analysis of comparison results several modes were designed for different hot-rolled strip thickness in accordance with various strategies. Optimal rolling schedule and thickness of hot-rolled strip were determined considering existing limitations.

Keywords: statistics, vibration, cold rolling, computer aided design, strategy of rolling

References

1. Laskov S.A., Gorbunov A.V., Lukyanov S.A., Golubchik E.M., Rumyantsev M.I. Experience of developing the production of cold-rolled products at CRC-11. *Sovershenstvovanie tekhnologii v* ОАО «ММК» [Technology improvement at OJSC MMK]. Magnitogorsk: Poligrafia, 2011, iss. 16, pp. 290-302.
2. Garber E.A. and others. Investigation of the vibration causes in the stands of continuous rolling mill. *Proizvodstvo prokata* [Rolled Products Manufacturing]. 2003, no. 1, pp. 10-12.
3. Lyalin V.S., Zverev I.G., Nikiforova N.G. *Statistika. Teoriya i praktika v Excel* [Statistics. Theory and Practice in Excel]. Moscow: Finance and Statistics, 2010, 448 p.
4. Rumyantsev M.I., Mitsov V.S., Gorbunov A.V. Simulation of the cold rolling process in order to develop technologies for high-strength cold-rolled steel for automotive industry. *Sovershenstvovanie tekhnologii v ОАО «ММК»* [Technology improvement OJSC MMK]. 2009, no. 14, pp. 322-332.
5. Salganik V.M., Medvedev G.A., Rumyantsev M.I. etc. The choice methods for modes and for parameters calculation in the computer aided design of sheet rolling. *Trudy tret'ego kongressa prokatchikov* [Proceedings of the third congress]. Moscow: Metallurgy, 1979. 232 p.

6. Kuznetsov L.A. *Primenenie UVM dlya optimizacii tonkolistovoj prokatki* [Computer application for optimization of sheet rolling]. Moscow: Metallurgy, 1988. 304 p.
7. Pimenov V.A. About the causes of cold rolling stability loss. *Izvestiya vuzov. Chyornaya metallurgiya* [Proceedings of the universities. Ferrous metallurgy], 1990, no. 8, p. 36-38.
8. Vassilev J.D. *Inzhenernye modeli i algoritmy raschyota parametrov holodnoj prokatki* [Engineering models and algorithms for calculating the parameters of cold rolling]. Moscow: Metallurgy, 1995. 368 p.

УДК 621.777: 621.777.22

РАСЧЕТ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ЗОНЫ ОБЖАТИЯ ПРИ ХОЛОДНОЙ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПРОКАТКЕ ТРУБ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Курмачев Ю.Ф., Соколов Р.Е., Высотина А.А.

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы расчета продольного профиля зоны обжатия при холодной периодической прокатке труб из алюминиевых сплавов в зависимости от заданной функции изменения степени деформации.

Ключевые слова: труба, прокатка, периодическая прокатка, степень деформации, заготовка, профиль, калибровка, прокатные валки, ручей, расчет, алюминий, сплав.

Введение

Холоднокатанные трубы из цветных металлов и сплавов занимают важное место в современной промышленности. Трубы из алюминиевых сплавов широко применяются в качестве изделий ответственного назначения в авиационной и космической технике.

Следует отметить, что процесс проектирования инструментальной оснастки при разработке технологии холодной прокатки труб (ХПТ) сопряжен с проведением большого объема вычислений, связанных с определением продольного профиля ручья калибра.

На сегодняшний день из технической литературы [1, 2] известен ряд методик расчета калибровок инструмента станов ХПТ, наиболее распространенными из которых являются методики НИТИ-НТЗ, МИСиС и УралНИТИ. Они широко применяются в производстве стальных и титановых труб, однако не предполагают точного аналитического решения поставленной задачи из-за принятия ряда допущений при её постановке.

В связи с этим актуальной становится задача по разработке методики точного расчета продольного профиля зоны обжатия при холодной периодической прокатке труб из алюминиевых сплавов по заданной функции изменения степени деформации.

Теория, материалы и методы исследования, технические и технологические разработки

Введем следующие обозначения; L – длина обжимной зоны; $D(x)$ – диаметр трубы в точке x ; D – диаметр заготовки; d – диаметр готовой трубы; $t(x)$ – толщина стенки трубы; $do(x)$ – диаметр оправки; $F(x)$ – площадь поперечного сечения трубы; $F_0 = F(0)$ – площадь поперечного сечения заготовки; $F_1 = F(L)$ – площадь поперечного сечения готовой трубы; μ – суммарная вытяжка, равная отношению $\frac{F_0}{F_1}$; $\varepsilon(x)$ – относительная частная деформация; m – подача заготовки.

Профиль обжимной зоны ручья калибра определяется изменением площади поперечного сечения, диаметра и толщины стенки трубы по длине зоны обжатия. Оправка, заданная известной функцией (линейной – коническая, либо нелинейной – так называемая «фигурная»), позволяет свести характеристику профиля обжатия лишь к изменению площади поперечного сечения, так как, зная диаметр оправки $do(x)$ и

площадь сечения трубы $F(x)$ в точке x , получаем толщину стенки

$$t(x) = -\frac{do(x)}{2} + \sqrt{\frac{do^2(x)}{4} + \frac{F(x)}{\pi}}, \quad (1)$$

тогда диаметр трубы

$$D(x) = do(x) + 2 \cdot t(x).$$

Поэтому рассмотрим проектирование продольного профиля обжимной зоны, определяемого законом изменения площади сечения трубы (см. рисунок).

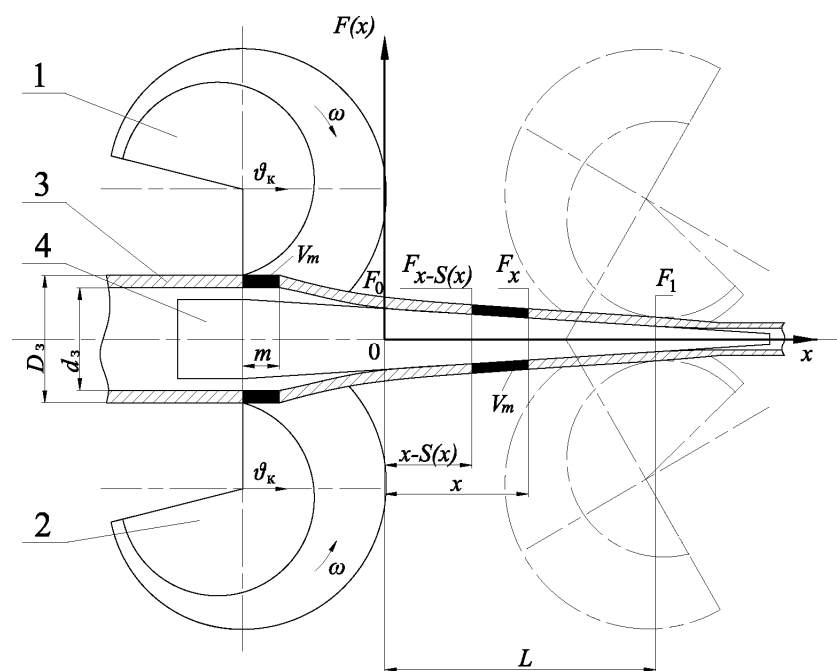


Схема изменения площади поперечного сечения трубы по длине очага деформации при холодной прокатке: 1, 2 – валки; 3 – заготовка; 4 – оправка

Выделим поперечное сечение трубы зоны обжатия в точке x от начала зоны. На расстоянии $S(x)$ влево от сечения в точке x выделим сечение в точке $x-S(x)$. Объем металла, находящийся между этими двумя сечениями, – величина постоянная и равна объему подачи заготовки

$$V = \int_{x-S(x)}^x F(t) dt. \quad (2)$$

Степень деформации в точке x определим как отношение абсолютной величины деформации

к площади исходного сечения на участке $[x-S(x); x]$

$$\varepsilon(x) = \frac{F(x-S(x)) - F(x)}{F(x-S(x))}. \quad (3)$$

Пусть степень частной деформации $\varepsilon(x)$ по длине зоны обжатия задана и соответствует функции изменения ресурса пластичности обрабатываемого металла.

Начальные значения степени деформации заданы:

$$\varepsilon(0) = \varepsilon_0, \quad \varepsilon(L) = \varepsilon_1.$$

Таким образом, получена система двух уравнений с двумя неизвестными функциями $S(x)$ и $F(x)$:

$$\begin{cases} \int_{x-S(x)}^x F(t) dt = V, \\ \frac{F(x-S(x)) - F(x)}{F(x-S(x))} = \varepsilon(x). \end{cases}$$

Первое уравнение есть интегральное уравнение Вольтерра I рода с единичным ядром, второе – функциональное.

Интегральное уравнение вида

$$\int_{\varphi_1(x)}^{\varphi_2(x)} \Phi(\tau) d\tau = \eta(x)$$

дифференцируется по пределам интегрирования следующим образом:

$$\Phi(\varphi_2(x)) \cdot \varphi_2'(x) - \Phi(\varphi_1(x)) \cdot \varphi_1'(x) = \eta'(x).$$

Воспользовавшись приведенным правилом, дифференцируем интегральное уравнение системы:

$$F(x) \cdot x' - F(x-S(x)) \cdot (x-S(x))' = 0.$$

Отсюда

$$F(x-S(x)) - F(x) = S'(x) \cdot F(x-S(x)).$$

Разделив обе части полученного уравнения

на $F(x - S(x))$, получим

$$S'(x) = \frac{F(x - S(x)) - F(x)}{F(x - S(x))}.$$

Правая часть полученного уравнения есть не что иное, как функция степени деформации $\varepsilon(x)$, и тем самым представляет собой второе уравнение системы. Отсюда получаем простое выражение функции смещения $S(x)$ для любой точки обжимной зоны в виде интеграла

$$S(x) = \int \varepsilon(x) dx + C. \quad (4)$$

Константа C определяется начальными значениями степени деформации и заданным суммарным смещением Sm . Площадь сечения трубы на расстоянии длины смещения определится как

$$F(x - S(x)) = \frac{F(x)}{1 - \varepsilon(x)}. \quad (5)$$

Итак, продольный профиль зоны обжатия при периодической прокатке определяется заданной функцией относительной степени деформации.

Из практических данных, полученных в условиях производства, известно, что суммарная вытяжка при прокатке труб из алюминиевых сплавов не должна превышать семи единиц, то есть $\mu \leq 7$ (при превышении этого значения на основании опытных данных исчерпывается ресурс пластичности, и металл разрушается). Следовательно, при заданных размерах готовой трубы суммарное смещение, определяющее производительность стана, $Sm = \mu \cdot m \leq 7m$, то есть фактически определяется величиной подачи m . (Заметим, что $Sm \cdot F_1 = V$, то есть объему подачи металла.) При выбранной подаче m и площади сечения готовой трубы F_1 определяются предварительные размеры заготовки, размеры зоны редуцирования, обжимной зоны, калибрующих участков по стенке и диаметру.

Рассмотрим конкретные примеры функций, определяющих степень деформации $\varepsilon(x)$.

1) Степень относительной деформации изменяется линейно:

$$\varepsilon(x) = ax + b.$$

Тогда

$$b = \varepsilon_0, \quad a = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_0}{L}.$$

По формуле (4) получаем функцию смещения

$$S(x) = \frac{ax^2}{2} + bx + C.$$

Константа

$$C = Sm - \frac{aL^2}{2} - bL.$$

Далее по формулам (4) и (5) последовательно производим расчет частных смещений и площадей, а значит, толщины стенки и диаметра трубы от конечной точки L к началу обжимной зоны.

2) Степень относительной деформации изменяется по гиперболическому закону:

$$\varepsilon(x) = \frac{1}{ax + b}.$$

Тогда

$$b = \frac{1}{\varepsilon_0}, \quad a = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_1}{\varepsilon_0 \varepsilon_1 L}.$$

По формуле (4) получаем функцию смещения

$$S(x) = \frac{1}{a} \ln(ax + b) + C.$$

Константа

$$C = Sm - \frac{1}{a} \ln(aL + b).$$

Также далее по формулам (4) и (5) последовательно производим расчет частных смещений и площадей, а значит, толщины стенки и диаметра трубы от конечной точки L к началу обжимной зоны.

В результате расчетов получим $n + 1$ точек на обжимной зоне. Количество точек на обжимной зоне равно дробности деформации. В полученных точках вычисляются значения площадей F_i поперечного сечения трубы, толщины стенки t_i и диаметров D_i . Искомые непрерывные функции изменения площади поперечного сечения трубы $F(x)$ и ее диаметра $D(x)$ представ-

ляются полиномами Лагранжа степени n (на единицу меньше количества полученных точек).

Интерполяционной формулой Лагранжа называется многочлен

$$\Lambda(x) = \sum_{i=0}^n y_i l_i(x),$$

где базисные полиномы $l_i(x)$ определяются по формуле

$$l_i(x) = \prod_{j=0, j \neq i}^n \frac{x - x_j}{x_i - x_j}$$

и обладают следующими свойствами:

- 1) являются многочленами степени n ;
- 2) $l_i(x_i) = 1$;
- 3) $l_i(x_j) = 0$ при $j \neq i$.

Многочлен Лагранжа $\Lambda(x)$ как линейная комбинация базисных полиномов $l_i(x)$ может иметь степень не больше n , и $\Lambda(x_i) = y_i$.

В нашем случае данными для полиномов Лагранжа являются пары чисел $(x_i; F_i)$, $(x_i; D_i)$, $(x_i; t_i)$, $i = \overline{0, n}$. Так как искомые функции изме-

нения площади поперечного сечения, диаметра и стенки трубы являются монотонно убывающими функциями, то погрешность интерполяции равна нулю.

Результаты исследования и выводы

Таким образом, получены аналитические функции, позволяющие получить уточненное решение при расчетах изменения площади поперечного сечения, диаметра и стенки трубы на продольном профиле зоны обжатия. Предложенная методика расчета была использована в ООО «Красноярский металлургический завод» при проектировании рабочего инструмента для холодной прокатки труб с наружным диаметром от 50 до 100 мм и толщиной стенки от 2 до 4 мм из сплава Д16. Прокатку осуществляли на станах ХПТ – 2-90 и ХПТ – 2-55.

Список литературы

1. Тетерин П.К. Теория периодической прокатки. М.: Металлургия, 1978.
2. Орлов Г.А. Элементы теории прокатки труб: учеб. пособие. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. 66 с.
3. Kurmachev Yuri F., Sokolov Ruslan E., Denis S. Voroshilov, Bepalov Vadim M., Moscvichev Vladimir V. The analytical dependence of the filling billets value to a given relative degree of deformation during cold rolling of tubes. *Journal of Siberian Federal University*. 2012, 5(7), pp. 731-736.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

CALCULATION OF THE LONGITUDINAL PROFILE OF THE REDUCTION ZONE DURING PERIODIC COLD ROLLING OF ALUMINUM ALLOY TUBES

Kurmachev Yuriy Fedorovich – Ph.D. (Eng), Associate Professor, FSAEI HPE Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia. E-mail: kurmach@mail.ru.

Sokolov Ruslan Yevgenyevich – Ph.D. (Eng), Associate Professor, FSAEI HPE Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia. E-mail: sokolov.sfu@gmail.com.

Vysotina Alena Andreyevna – Student, FSAEI HPE Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia. E-mail: las_vegas_24@mail.ru.

Abstract. In this article the issues concerning the calculation of longitudinal profile of the reduction zone during periodic cold rolling of aluminum alloy tubes were considered, depending on the given function of deformation ratio change.

Keywords: tube, rolling, periodic rolling, deformation ratio, billet, profile, grooving, mill rolls, caliber, calculation, aluminum, alloy.

References

1. Teterin P.K. *Teoriya periodicheskoy prokatki* [The theory of periodic rolling]. Moscow: Metallurgy, 1978.
2. Orlov G.A. *Elementy teorii prokatki trub* [Elements the theory of tube rolling]. Yekaterinburg: SEI HPE USTU-UPI, 2004, 66 p.
3. Kurmachev Yuri F., Sokolov Ruslan E., Voroshilov Denis S., Bepalov Vadim M., Moscvichev Vladimir V. The analytical dependence of the filling billets value to a given relative degree of deformation during cold rolling of tubes. *Journal of Siberian Federal University*. 2012, 5(7), pp. 731-736.

УДК 621.7

НАПРЯЖЕНИЕ ВОЛОЧЕНИЯ СПЛОШНЫХ ПРОФИЛЕЙ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ

Трофимов В.Н., Кузнецова Т.В., Панин Ю.В., Шардин А.А.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия

Аннотация. При проектировании процесса волочения профилей прямоугольного сечения удобно использовать аналитические выражения, позволяющие оперативно оценивать влияние разных технологических факторов. Использование волочильного инструмента с оптимальными углами позволяет снизить энергозатраты, разрушение и дефектность заготовки.

Получены аналитические соотношения, позволяющие определить напряжение волочения прямоугольных профилей при произвольных соотношениях сторон профиля заготовки до и после волочения. Рассмотрены частные случаи определения напряжения волочения прямоугольных профилей.

Ключевые слова: прямоугольный профиль, напряжение волочения, волочильный инструмент, оптимальный угол.

Введение

Калиброванные профили прямоугольного сечения из чёрных и цветных металлов и сплавов, получаемые волочением, используются для изготовления призматических шпонок, торсионов токопроводящих шин, трансформаторов, электромагнитов и др.

Основной задачей при проектировании технологии волочения является достижение наилучших энергосиловых параметров процесса и снижение обрывности и дефектности заготовок для повышения качества готовой продукции.

Одним из направлений решения указанных задач является минимизация деформирующих усилий – усилия или напряжения волочения $\sigma_{вол}$ – за счёт выбора оптимальной геометрии канала волочильного инструмента.

Основная часть

Для определения напряжения волочения прямоугольного профиля авторы работы [1] рекомендуют использовать формулу для расчёта напряжения волочения круглого профиля, а вместо действительного угла канала волокна α_g использовать приведенный угол α_n . Различие контактной площади при волочении прямоугольного профиля авторы [1] предлагают учитывать с помощью коэффициента $A = F_m / F_k$, где F_m – площадь контактной поверхности некруглого профиля; F_k – площадь контактной поверхности равновеликого профиля круглого сечения.

Существенным недостатком использования приведенного угла α_n является то, что из формулы для расчёта $\sigma_{вол}$ следует, что с увеличением длины калибрующей части канала волокна l_k необходимо увеличивать угол канала волокна α_g . Однако опыт волочения показывает, что данная тенденция имеет ограничение, так как с увеличением угла α_g и длины l_k увеличивается обрывность протягиваемых изделий вследствие ухудшения условий захвата смазки и роста напряжения волочения.

Кроме того, предлагаемые формулы рекомендуют использовать для расчёта напряжения волочения профилей, сечения которых до и после волочения подобны. Однако данное условие в реальных процессах не всегда выполнимо.

Предлагаемые формулы также не учитывают увеличения напряжения волочения за счёт дополнительных сдвигов частиц металла на входе и выходе канала волочильного инструмента.

При получении аналитических расчётных соотношений для определения $\sigma_{вол}$ прямоугольного профиля используем следующие допущения:

- канал волокна имеет форму усеченной пирамиды, для которой соотношения сторон сечения до и после волочения не равны: $h_0 / b_0 \neq h_1 / b_1$;
- положение граней профиля канала волокна определяется углами α_1 и α_2 ;
- границы зоны деформации плоские;

– деформируемый материал идеальный жесткопластический;

– напряжения $\sigma_x \approx \sigma_y$ и распределены равномерно по сечению заготовки;

– вследствие малых углов конусности канала волок ($\alpha_s \leq 15^\circ$) принимаем приближенное равенство осевых и нормальных контактных напряжений $\sigma_x \approx \sigma_y \approx \sigma_n$;

– условие пластичности с учётом знака нормальных напряжений имеет вид $\sigma_z + \sigma_n = \sigma_s$, где σ_z – продольное напряжение;

– на поверхности контакта нормальные и касательные контактные напряжения распределены равномерно по периметру сечения;

– контактные силы трения определяются законом Кулона: $\tau = f_n \sigma_n$.

Определим напряжение волочения на выходе из сужающейся части канала волоки по формуле

$$\sigma_0 = \sigma_1 + \Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_2, \quad (1)$$

σ_1 – напряжение, обусловленное деформацией металла в канале волоки; $\Delta\sigma_1$ и $\Delta\sigma_2$ – приращение продольного напряжения за счёт дополнительных сдвигов частиц металла на входе и выходе сужающейся части канала волоки.

Схема зоны деформации профиля в канале волоки показана на **рис. 1**.

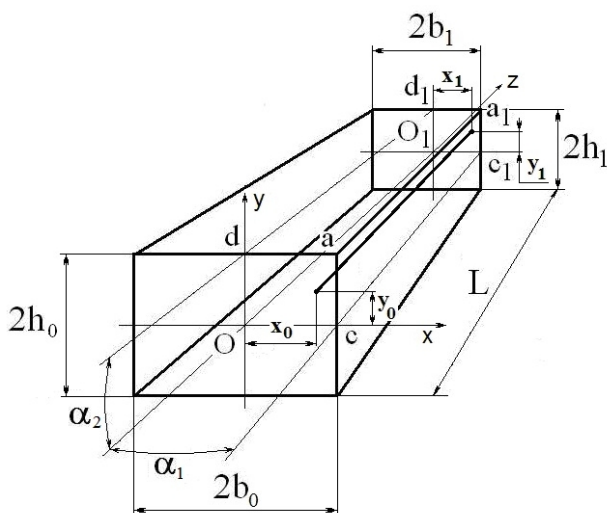


Рис.1. Схема зоны деформации в сужающемся канале волоки

Вследствие осевой симметрии для определения напряжения $\sigma_{вол}$ достаточно рассмотреть

условия деформирования сектора, ограниченно-го плоскостями Oss_1O_1 и Odd_1O_1 , проходящими через ось канала перпендикулярно соответствующей грани (см. **рис. 1**).

Для определения напряжения σ_1 используем метод плоских сечений.

Из геометрических соотношений получим уравнения для определения ширины и высоты выделенного сектора:

$$b(z) = b_0 - z \cdot tg\alpha_1; \quad h(z) = h_0 - z \cdot tg\alpha_2. \quad (2)$$

Составим дифференциальное уравнение равновесия для элемента длиной dz , выделенного в канале волоки (**рис. 2**), которое после преобразований имеет вид

$$\frac{d\sigma_z}{dz} + \sigma_z \frac{1}{F(z)} \frac{dF(z)}{dz} - \sigma_n \left(\frac{f_n + tg\alpha_1}{b(z)} + \frac{f_n + tg\alpha_2}{h(z)} \right) = 0, \quad (3)$$

где $F(z) = b(z)h(z)$ – площадь поперечного сечения сектора.

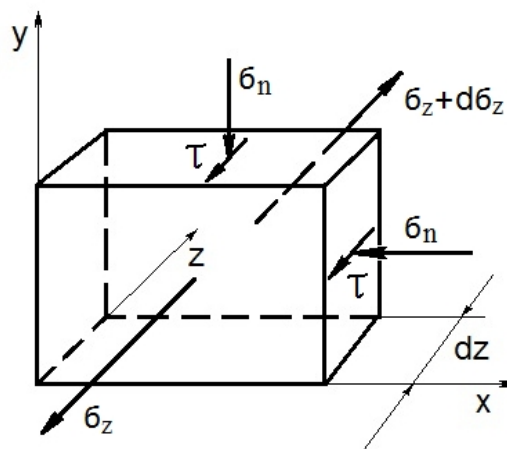


Рис. 2. Схема напряженного состояния элемента заготовки

С учётом соотношений (2), принятого условия пластичности и закона трения из уравнения (3) получим

$$\frac{d\sigma_z}{dz} + \sigma_z f_n \left(\frac{1}{b(z)} + \frac{1}{h(z)} \right) - \sigma_s \left(\frac{f_n + tg\alpha_1}{b(z)} + \frac{f_n + tg\alpha_2}{h(z)} \right) = 0. \quad (4)$$

Решение неоднородного дифференциально-

го уравнения (4) имеет вид

$$\sigma_z = b(z)^{a_1} h(z)^{a_2} \times \left[\int \sigma_s \left(\frac{f_n + tg\alpha_1}{b(z)} + \frac{f_n + tg\alpha_2}{h(z)} \right) \frac{1}{b(z)^{a_1} h(z)^{a_2}} dz + C_1 \right], \quad (5)$$

где $a_1 = f_n / tg\alpha_1$ и $a_2 = f_n / tg\alpha_2$.

Аналитическое решение интеграла в уравнении (5) отсутствует.

Для получения аналитического решения уравнения (4) перегруппируем его слагаемые и примем, что левая и правая части полученного выражения равны постоянной C_0 .

$$\begin{aligned} \frac{d\sigma_z}{dz} + \sigma_z \frac{f_n}{h(z)} - \sigma_s \frac{f_n + tg\alpha_2}{h(z)} &= C_0 = \\ &= -\sigma_z \frac{f_n}{b(z)} + \sigma_s \frac{f_n + tg\alpha_1}{b(z)}. \end{aligned}$$

Таким образом, для получения аналитического решения уравнения (4) необходимо получить решение системы

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d\sigma_z}{dz} + \sigma_z \frac{f_n}{h(z)} - \sigma_s \frac{f_n + tg\alpha_2}{h(z)} &= C_0; \end{aligned} \right. \quad (6a)$$

$$\left\{ \begin{aligned} -\sigma_z \frac{f_n}{b} + \sigma_s \frac{f_n + tg\alpha_1}{b} &= C_0. \end{aligned} \right. \quad (6б)$$

Решение дифференциального уравнения (6a) имеет вид

$$\sigma_z(z) = \sigma_s \frac{1+a_2}{a_2} + C_0 \frac{h(z)}{(a_2-1) \cdot tg\alpha_2} + C_1 h(z)^{a_2}. \quad (7)$$

Подставим C_0 (выражение (6б)) в (7) и определим C_1 , принимая граничные условия: $b|_{z=0} = b_0$; $h|_{z=0} = h_0$; $\sigma_z|_{z=0} = \sigma_q$ – напряжение противонапряжения.

$$\begin{aligned} C_1 = \frac{1}{h_0^{a_2}} \left\{ \sigma_q \left[1 + \frac{h_0}{b_0} \cdot \frac{f_n}{(a_2-1)tg\alpha_2} \right] - \right. \\ \left. - \sigma_s \left[\frac{1+a_2}{a_2} + \frac{h_0}{b_0} \cdot \frac{1+a_2}{a_2-1} \cdot \frac{tg\alpha_1}{tg\alpha_2} \right] \right\}. \end{aligned} \quad (8)$$

Из уравнений (7) и (8) определим напряжения σ_1 ($\sigma_z|_{z=L} = \sigma_1$, $h|_{z=L} = h_1$, $b|_{z=L} = b_1$)

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_0 &= \frac{a_2-1}{a_2(1+k_1)-1} \times \\ &\times \left\{ \frac{1+a_2}{a_2} (1-\lambda_h^{-a_2}) + \frac{k_\alpha+a_2}{a_2-1} (k_1-k_0 \lambda_h^{-a_2}) \right\} + \dots \quad (9) \\ &\dots + \bar{\sigma}_q \frac{a_2(1+k_0)-1}{a_2(1+k_1)-1} \lambda_h^{-a_2} + 0,46 tg\alpha_2 (1+k_\alpha), \end{aligned}$$

где $\bar{\sigma}_1 = \sigma_1 / \sigma_s$; $\bar{\sigma}_q = \sigma_q / \sigma_s$ – относительное напряжение противонапряжения; $k_0 = h_0 / b_0$; $k_1 = h_1 / b_1$; $\lambda_h = h_0 / h_1$; $k_\alpha = tg\alpha_1 / tg\alpha_2$.

Для определения приращения продольного напряжения на входе в зону деформации σ_1 используем метод баланса мощностей, принимая, что мощность на приращение продольного напряжения равна мощности напряжений от дополнительного сдвига: $N_1 = N_{сдв}$.

Мощность напряжений от дополнительного сдвига определяется [2]

$$N_{сдв} = \tau_s \int_{F_0} |\Delta V''| dF, \quad (10)$$

где $\tau_s = \sigma_s / \sqrt{3}$ – сопротивление сдвигу; $\Delta V''$ – изменение составляющей скорости частицы параллельной поверхности разрыва (границы зоны деформации); F_0 – площадь сечения сектора заготовки на входе в зону деформации.

Мощность на приращение продольного напряжения равна

$$N_1 = \Delta\sigma_1 F_0 V_0. \quad (11)$$

Учитывая, что до границы зоны деформации составляющие скорости $V'' = 0$, а нормальная составляющая скорости частиц при переходе границы не изменяется (рис. 3), определим

$$\Delta V'' = \sqrt{(V_x'')^2 + (V_y'')^2} = V_0 \sqrt{tg^2\alpha_1' + tg^2\alpha_2'} \quad (14)$$

Для определения углов α_1' и α_2' примем, что положение точек линии тока на границах и внутри зоны деформации определяется безразмерными координатами (см. рис. 1)

$$\begin{aligned} \bar{x} &= x_0 / b_0 = x_1 / b_1 = x / b(z); \\ \bar{y} &= y_0 / h_0 = y_1 / h_1 = y / h(z). \end{aligned} \quad (15)$$

Из соотношений (2) и (15) определим

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha'_1 &= dx / dz = -\bar{x} \operatorname{tg} \alpha_1; \\ \operatorname{tg} \alpha'_2 &= dy / dz = -\bar{y} \operatorname{tg} \alpha_2. \end{aligned} \quad (16)$$

Подставляя (14) и (16) в уравнения (10) и (11), получим

$$\begin{aligned} \Delta \bar{\sigma}_1 &= \Delta \sigma_1 / \sigma_s = \\ &= \frac{1}{\sqrt{3}} \int_0^1 \int_0^1 \sqrt{(\bar{x} \operatorname{tg} \alpha_1)^2 + (\bar{y} \operatorname{tg} \alpha_2)^2} d\bar{x} d\bar{y}. \end{aligned} \quad (17)$$

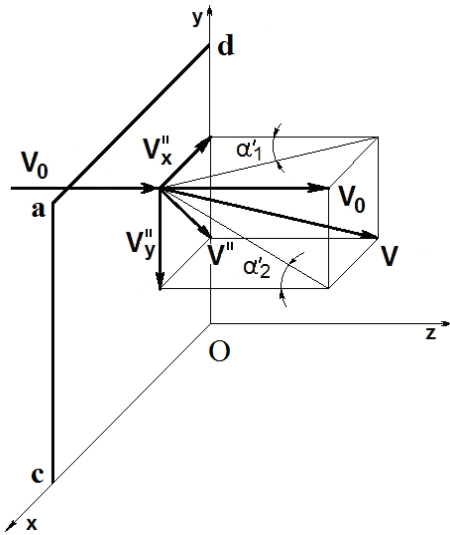


Рис.3. Схема для определения величины σ_1

Решение в квадратурах интеграла, входящего в уравнение (17), отсутствует. Однако анализ результатов численного решения показывает, что для реальных значений углов α_1 и α_2 его величина с достаточной точностью (погрешность не более 5%) может быть определена по формуле $0,4(\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2)$.

Используя метод баланса мощностей, также можно показать, что $\Delta \sigma_1 = \Delta \sigma_2$.

Тогда напряжение на выходе из сужающей части канала волокна с учётом (17) определится

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_0 &= \frac{a_2 - 1}{a_2(1 + k_1) - 1} \times \\ &\times \left\{ \frac{1 + a_2}{a_2} (1 - \lambda_h^{-a_2}) + \frac{k_\alpha + a_2}{a_2 - 1} (k_1 - k_0 \lambda_h^{-a_2}) \right\} + \dots (18) \\ &\dots + \bar{\sigma}_q \frac{a_2(1 + k_0) - 1}{a_2(1 + k_1) - 1} \lambda_h^{-a_2} + 0,46 \operatorname{tg} \alpha_2 (1 + k_\alpha). \end{aligned}$$

Для учёта влияния калибрующей зоны кана-

ла волокна используем подход Емельяненко П.Т. и Альшевского Л.Е., когда контактное напряжение принимается максимально возможным и определяется из условия пластичности [1]. Тогда напряжение волочения определится [3]

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_{\text{вол}} &= 1 - (1 - \bar{\sigma}_0) \exp(-\delta_\kappa) \approx \\ &\approx 1 - (1 - \bar{\sigma}_0)(1 - \delta_\kappa). \end{aligned} \quad (19)$$

В формуле (19) коэффициент δ_κ , характеризующий влияние калибрующей зоны, равен $\delta_\kappa = 2f_n(1 + k_1)L_\kappa / h_1$, где L_κ – длина калибрующей зоны.

Рассмотрим частные случаи применения формулы (18).

Случай 1. Формы сечения заготовки до и после волочения подобны.

В этом случае $k_0 = k_1 = k = h/b$. Учитывая соотношения (2), несложно показать, что $k_\alpha = 1/k$. Принимая $a_2 = f_n / \operatorname{tg} \alpha_2 = a$, преобразуем формулу (18):

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_0 &= \Phi(1 - \lambda_h^{-a}) + \\ &+ \bar{\sigma}_q \lambda_h^{-a} + 0,46 \operatorname{tg} \alpha_2 (1 + 1/k), \end{aligned} \quad (19)$$

$$\text{где } \Phi = 1 + \frac{1 - 2a}{a} \cdot \frac{1}{1 - a(1 + k)}.$$

Принимая $\lambda_h^{-a} \approx 1 - a \ln \lambda_h$, упростим формулу (19) и после преобразований получим

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_0 &= \left[\frac{1 - 2a}{1 - a(1 + k)} + a(1 - \bar{\sigma}_q) \right] \ln \lambda_h + \\ &+ 0,46 \operatorname{tg} \alpha_2 (1 + 1/k) + \bar{\sigma}_q \end{aligned} \quad (20)$$

Случай 2. Сечение заготовки до и после волочения – квадрат.

В этом случае $k_0 = k_1 = 1$. Учитывая, что $k_\alpha = 1$, из формулы (18) получим

$$\bar{\sigma}_0 = \frac{1 + a}{a} (1 - \lambda_h^{-a}) + \bar{\sigma}_q \lambda_h^{-a} + 0,92 \operatorname{tg} \alpha. \quad (21)$$

После упрощения формула (21) принимает вид

$$\bar{\sigma}_0 = \ln \lambda_h [1 + a(1 - \bar{\sigma}_q)] + 0,92 \operatorname{tg} \alpha + \bar{\sigma}_q. \quad (22)$$

Формулы (18)-(22) позволяют определить

оптимальные значения углов канала волоки α_{opt} , обеспечивающие минимальное значение напряжения волочения из условия $d\bar{\sigma}_{vol}/d\alpha$. При этом использование уравнений (18)-(21) ведёт к необходимости решения трансцендентных уравнений, что не позволяет получить аналитические выражения для определения значений α_{opt} . Однако уравнение (22) позволяет получить такое выражение

$$\alpha_{opt} = \arctg \left[1,043 \sqrt{f_n (1 - \bar{\sigma}_q) \ln \lambda_h} \right].$$

Выводы. Получены соотношения, позволяющие определить напряжение волочения прямоугольных профилей при произвольных соотношениях сторон профиля заготовки до и после волочения. Рассмотрены частные случаи определения напряжения волочения прямоугольных профилей.

Список литературы:

1. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения. М.: Metallurgy, 1971. 448 с.
2. Джонсон У., Кудо Х. Механика процесса выдавливания металла. М.: Metallurgy, 1965. 174 с.
3. Трофимов В.Н., Кузнецова Т.В., Мельникова Т.Е. // Изв. вузов. Чёрная металлургия. 2012. №7. С. 42-45.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

DRAWING FORCE OF SOLID RECTANGULAR SECTION PROFILES

Trofimov Viktor Nikolaevich – D.Sc. (Eng), Professor, Perm National Research Polytechnic University, Russia. Phone: +7 (342) 239-13-40. E-mail: tvn_perm@mail.ru.

Kuznetsova Tatyana Vladimirovna – Postgraduate Student, Perm National Research Polytechnic University, Russia. Phone: +7 (342) 239-13-40. E-mail: dpm@pstu.ru.

Panin Yury Valerevich – Postgraduate Student, Perm National Research Polytechnic University, Russia. Phone: +7 (342) 239-13-40. E-mail: dpm@pstu.ru.

Shardin Alexey Andreevich – Postgraduate Student, Perm National Research Polytechnic University, Russia. Phone: +7 (342) 239-13-40. E-mail: dpm@pstu.ru.

Abstract. When designing the process of rectangular profiles drawing, it is convenient to use analytical expressions to estimate promptly the influence of different technological factors. Using the drawing tool with optimal angles allows us to reduce power consumption, destruction and deficiency of a workpiece.

Formulas are obtained for calculation of drawing force and for determining the optimum angles of the channel of the drawing tool. It is shown that optimum angles depend on friction and extract coefficient.

Keywords: rectangular profile, pressure of drawing, the drawing tool, an optimum angle.

References

1. Perlín I.L., Ermanok M.Z. *Teoria volochenia* [Wire Drawing Theory]. Moscow: Metallurgy, 1971. 448 p.
2. Jonson U., Kudo H. *Mehanika processa vydavlivania metalla* [Mechanics of metal extrusion process]. Moscow: Metallurgy, 1965. 174 p.
3. Trofimov V.N., Kyznecova T.V., Melnikova T.E. *Izv. vuzov. Chernaya metallurgiya* [Proceedings of the universities. Ferrous metals]. 2012, no. 7, pp. 42-45.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ. СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

УДК 669.018.25+620.178.15

РАЗРАБОТКА МЕТОДА СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ ПО ДИАГРАММЕ ВНЕДРЕНИЯ ПИРАМИДЫ БЕРКОВИЧА

Пашинский В.В., Субботина М.Г.

Донецкий национальный технический университет, Украина

Аннотация. Трудности в определении механических свойств твердых сплавов и прогнозировании их работоспособности обусловили повышенный интерес к поиску альтернативных испытаний. Целью работы было изучение твердых сплавов методом кинетического индентирования. Был установлен предел пропорциональности, упругая жесткость, показатель пластичности и способность сплавов превращать прилагаемую во время индентирования энергию. Была сформулирована гипотеза: уровень свойств сплавов растет при увеличении упругой жесткости, показателя пластичности, соотношения диссипированной энергии к упруго-возвращенной, энергии упругой деформации в зоне контакта индентора с отпечатком к суммарной энергии упругой деформации и отношения диссипированной энергии к общей энергии индентирования. Было показано, что низкими свойствами обладают сплавы на основе карбида титана, максимальными – сплавы на основе карбида вольфрама с матрицей из кобальта и никеля, им несколько уступают без добавок никеля.

Ключевые слова: индентирование, твердый сплав, кинетическое индентирование, диссипированная энергия, упруго-возвращенная энергия.

Введение

Трудности в определении таких механических свойств, как предел прочности, пропорциональности, относительного удлинения для хрупких материалов обусловили повышенный интерес к индентированию, как статическому, так и кинетическому или динамическому. Большой класс материалов, которые возможно испытать исключительно микромеханическим воздействием, включает стекла, алмазы, сверхтвердые материалы. Твердые сплавы подвергаются нескольким стандартным видам испытаний (испытания для определения прочности и ударной вязкости), тем не менее, неоднократно была отмечена неинформативность получаемых результатов, которые не могут полно описать поведение сплавов при эксплуатации. В связи с этим применение индентирования к твердым сплавам является перспективным направлением исследований, который может дать более полное представление о предполагаемом ресурсе работы сплавов и помочь спрогнозировать стойкость инструмента или изнашиваемых деталей из сплавов этой группы.

Целью данной работы было изучение твердых сплавов методом кинетического индентирования. Задачами исследования было установление предела пропорциональности, упругой жесткости, показателя пластичности и способности сплавов поглощать прилагаемую энергию.

Материалы и методы исследования

Для исследования были использованы образцы из порошковых спеченных сплавов на основе карбидов титана и вольфрама, которые приведены в **табл. 1**. Сплавы были получены по технологии контролируемого горячего вакуумного прессования. Сплавы ВК30 и ТС15/15 представлены после нескольких циклов прессования – 1, 2 или 3 соответственно.

Кинетическое индентирование было проведено согласно ISO 14577:2002(E) «Metallic materials – Instrumented indentation test for hardness and materials parameters. Part 1: Test method» [1]. Испытания проводились на приборе «Микронгамма» с установленной пирамидой Берковича [2, 3]. На каждом сплаве была снята серия из 10 кривых.

Таблица 1

Состав, твердость и прочность
исследуемых сплавов

Марка сплава	Твердость HV, ГПа	$\sigma_{изг}$, Н/мм ²	Состав, %мас.
ВК30-1цикл*	517±14	2210	70WC-30Co
ВК30-2цикла	521±19	2260	
ВК30-3цикла	469±21	2050	
ТС15/15-1цикл	376±48	2405	70WC-15Co-15Ni
ТС15/15 2цикла	402±11	2000	
ВК11	872±27	2225	89WC-11Co
ВК25	548±17	2700	75WC-25Co
ТС7/7	925±19	2900	86WC-15Co-15Ni
Т50Н10Ж40	508±167	-	50TiC-10Ni-40Fe
Т50Н40Ж10	299±23	-	50TiC-40Ni-10Fe
Т50Т23Н27	1007±78	-	50TiC-23Ti-27Ni
Т50Т39Н11	2313±85	-	50TiC-39Ti-11Ni

Определение показателя пластичности базируется на работах [4, 5]. Была определена доля пластической деформации в общеупругой деформации под индентором δ_H – это безразмерная величина, которая может изменяться от 0,13 (для алмаза) до 0,99 (для золота).

$$\delta_H = \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon} = 1 - \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon},$$

где ε_p , ε_e , ε – усредненные по площадке контакта индентора со шлифом значения пластической, упругой и общей деформации.

$$\varepsilon = \ln \sin \gamma_1;$$

$$\varepsilon_p = \ln \sin \gamma_2;$$

$$\operatorname{ctg} \gamma_2 = \operatorname{ctg} \gamma_1 - 1,77 \frac{HM}{Er};$$

$$E_r = \frac{HM}{\varepsilon'_e};$$

$$\varepsilon'_e = K_5 \cdot N \cdot \operatorname{ctg} \gamma_1 \cdot \frac{h_e}{h};$$

$$N = \frac{h}{h_e} \left[1 + K_3 \left(\frac{h}{h_e} + \frac{h_H}{h_c} - 1 \right) \right]^{-1},$$

где γ_2 – угол между осью и гранью восстановленного отпечатка; γ_1 – половина двухгранного угла пирамиды индентора, т.е. $\gamma_1=68^\circ$ – для пирамиды Виккерса, $\gamma_1=65^\circ$ – для пирамиды Берко-

вича; HM – твердость по Мейеру; E_k – эффективный (контактный, приведенный) модуль Юнга; ε'_e – упругая деформация контактной пары индентор-отпечаток твердости; h_H – высота навала (обычно принимается равной 0); $K_3 = 1,26$; $K_5 = 0,28$ – коэффициенты формы индентора [4].

Предел пропорциональности при индентировании σ_{ind} был определен по следующей зависимости [4, 6, 7]:

$$\sigma_{ind} = E \cdot \varepsilon_{es}; \quad \varepsilon_{es} = \varepsilon_p \frac{h_s}{h_c};$$

$$h_s = 0,75 P_{max} / S; \quad h_c = h_{max} - h_s,$$

где ε_{es} – величина упругой деформации в бесконтактной области; E – модуль упругости материала образца.

По кривым индентирования также были найдены следующие показатели энергетических затрат: W_{pl} – диссипированная материалом энергия; W_e – энергия упругого восстановления; W_s – энергия на совершения бесконтактной упругой деформации; W_c – энергия упругопластической деформации; W_{ce} – энергия упругой деформации в зоне контакта с индентором. Но абсолютные значения энергии (нДж) зависят от глубины внедрения индентора и поэтому не могут быть показательными при схеме испытания, когда регламентируется только прилагаемая нагрузка. Поэтому были рассчитаны соотношения энергий, затраченных на процессы при индентировании.

Результаты исследования и их обсуждение

Установленные максимальная глубина внедрения индентора h_{max} , глубина восстановленного отпечатка h_f , модуль нормальной упругости E , твердость HM , упругая жесткость S [8], которые определяются по ISO, приведены в **табл. 2**.

Максимальная жесткость наблюдается для сплавов ТС15/15 и ВК30 (после двух циклов спекания). При этом твердость и модуль Юнга максимальны для ВК11 и сплавов Т50Т23Н27 и Т50Т39Н11.

Рассчитанные значения показателя пластичности δ_H и предела упругости при индентировании представлены на **рис. 1**.

Величина δ_H максимальна для сплавов на основе карбида вольфрама – ВК30 и ТС15/15, ниже для сплавов ВК25, ТС7/7, незначительно меньше для сплавов системы TiC-Fe-Ni и минимальна для сплавов TiC-Ti-Ni. Сплавы ВК и ТС представлены после нескольких циклов спекания.

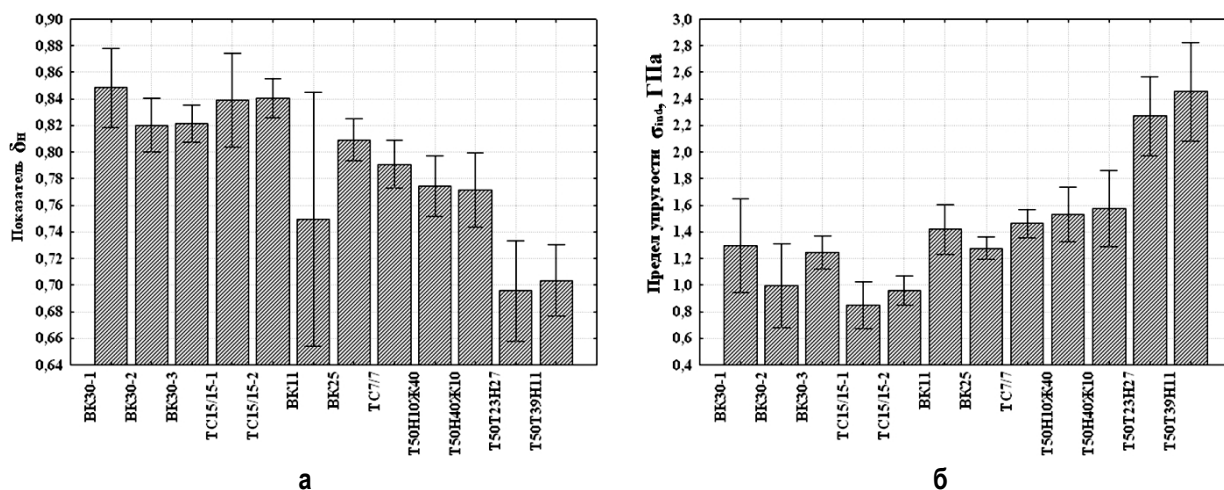


Рис.1. Установленные свойства сплавов: а - доля пластической деформации в общеупругой деформации под индентором δ_n ; б - предел упругости σ_{ind} , ГПа

Для сплава BK30 наивысшая δ_n наблюдается после одного цикла ($0,8483 \pm 0,029$) спекания, второй цикл приводит к некоторому понижению ($0,8203 \pm 0,020$) пластичности, а третий цикл немного повышает средние показатели пластичности ($0,8216 \pm 0,014$). Сплав TC15/15 имеет наибольшую пластичность после второго цикла спекания ($0,8406 \pm 0,015$), по сравнению с одним циклом ($0,8391 \pm 0,035$) средние значения возросли слабо, но значительно сузился доверительный интервал. Малая пластичность сплавов на основе TiC обусловлена свойствами самого карбида, но при Ni-Fe-связке показатели намного выше, чем при Ni-Ti.

Динамика изменения предела упругости и упругой деформации в бесконтактной области коррелирует между собой для исследуемых сплавов. Наименьшие величины σ_{ind} демонстрируют сплавы на основе WC, наибольшие – сплавы системы TiC-Ti-Ni. Вторым циклом спекания сплава BK30 приводит к понижению $\sigma_{ind} = 3,44 \pm 1,25$ ГПа по сравнению с первым $\sigma_{ind} = 4,06 \pm 1,11$ ГПа, а после третьего цикла предел упругости несколько возрастает $\sigma_{ind} = 3,97 \pm 0,48$ ГПа. Значения σ_{ind} для сплава TC15/15 ниже, чем для BK30, но после второго цикла возрастают от $2,82 \pm 0,93$ до $3,12 \pm 0,42$ ГПа.

Сплавы BK11 и TC7/7 обладают пределом упругости гораздо большим, чем другие исследованные сплавы на основе WC – $5,57 \pm 0,73$ и $5,90 \pm 0,48$ ГПа соответственно. Эти значения

выше, чем у сплавов T50N10Ж40 и T50N40Ж10 ($4,35 \pm 0,80$ и $4,77 \pm 0,89$ ГПа соответственно). Сплав BK25 приближается по свойствам к BK30 после 1 или 3 циклов спекания. Для него $\sigma_{ind} = 3,94 \pm 0,19$ ГПа.

Таким образом, можно утверждать, что для сплавов на основе WC предел упругости (и упругая деформация в бесконтактной области) находится в прямой зависимости от содержания карбида в структуре: при увеличении содержания WC σ_{ind} уменьшается.

Таблица 2

Свойства сплавов, установленные индентированием

Сплавы	Е, ГПа	НМ, ГПа	h_{max} , мкм	h_f , мкм	Жесткость S, Н/мкм
BK30-1цикл	$314,6 \pm 13,6$	$11,4 \pm 1,2$	$1,50 \pm 0,07$	$1,19 \pm 0,09$	$2,23 \pm 0,39$
BK30-2цикла	$343,7 \pm 31,9$	$13,5 \pm 2,9$	$1,41 \pm 0,10$	$1,07 \pm 0,11$	$3,39 \pm 1,21$
BK30-3цикла	$318,4 \pm 15,2$	$13,0 \pm 1,5$	$1,43 \pm 0,07$	$1,08 \pm 0,07$	$2,32 \pm 0,12$
TC15/15-1цикла	$325,6 \pm 31,7$	$11,2 \pm 3,6$	$1,55 \pm 0,14$	$1,22 \pm 0,16$	$2,68 \pm 0,19$
TC15/15-2цикла	$324,4 \pm 16,7$	$10,4 \pm 1,2$	$1,56 \pm 0,08$	$1,22 \pm 0,08$	$2,69 \pm 0,17$
BK11	$393,9 \pm 13,9$	$19,6 \pm 1,4$	$1,18 \pm 0,03$	$0,78 \pm 0,16$	$2,55 \pm 0,45$
BK25	$309,7 \pm 18,5$	$12,8 \pm 0,6$	$1,43 \pm 0,03$	$1,06 \pm 0,04$	$2,25 \pm 0,11$
TC7/7	$403,8 \pm 17,1$	$19,5 \pm 1,7$	$1,18 \pm 0,04$	$0,85 \pm 0,05$	$2,41 \pm 0,09$
T50T23H27	$399,6 \pm 43,1$	$32,2 \pm 7,5$	$1,02 \pm 0,08$	$0,61 \pm 0,09$	$1,96 \pm 0,12$
T50T39H11	$343,5 \pm 49,0$	$30,3 \pm 8,1$	$1,08 \pm 0,11$	$0,65 \pm 0,10$	$1,75 \pm 0,12$
T50N40Ж10	$304,0 \pm 19,5$	$15,3 \pm 2,4$	$1,35 \pm 0,08$	$0,94 \pm 0,10$	$2,04 \pm 0,24$
T50N10Ж40	$281,2 \pm 19,3$	$14,8 \pm 2,6$	$1,39 \pm 0,10$	$0,97 \pm 0,09$	$2,00 \pm 0,13$

В целом характер изменения σ_{ind} обратный изменению доли пластической деформации δ_n .

По кривым индентирования также были найдены показатели энергетических затрат по методике, приведенной в [9, 10]. Их сравнительные величины приведены на рис. 2.

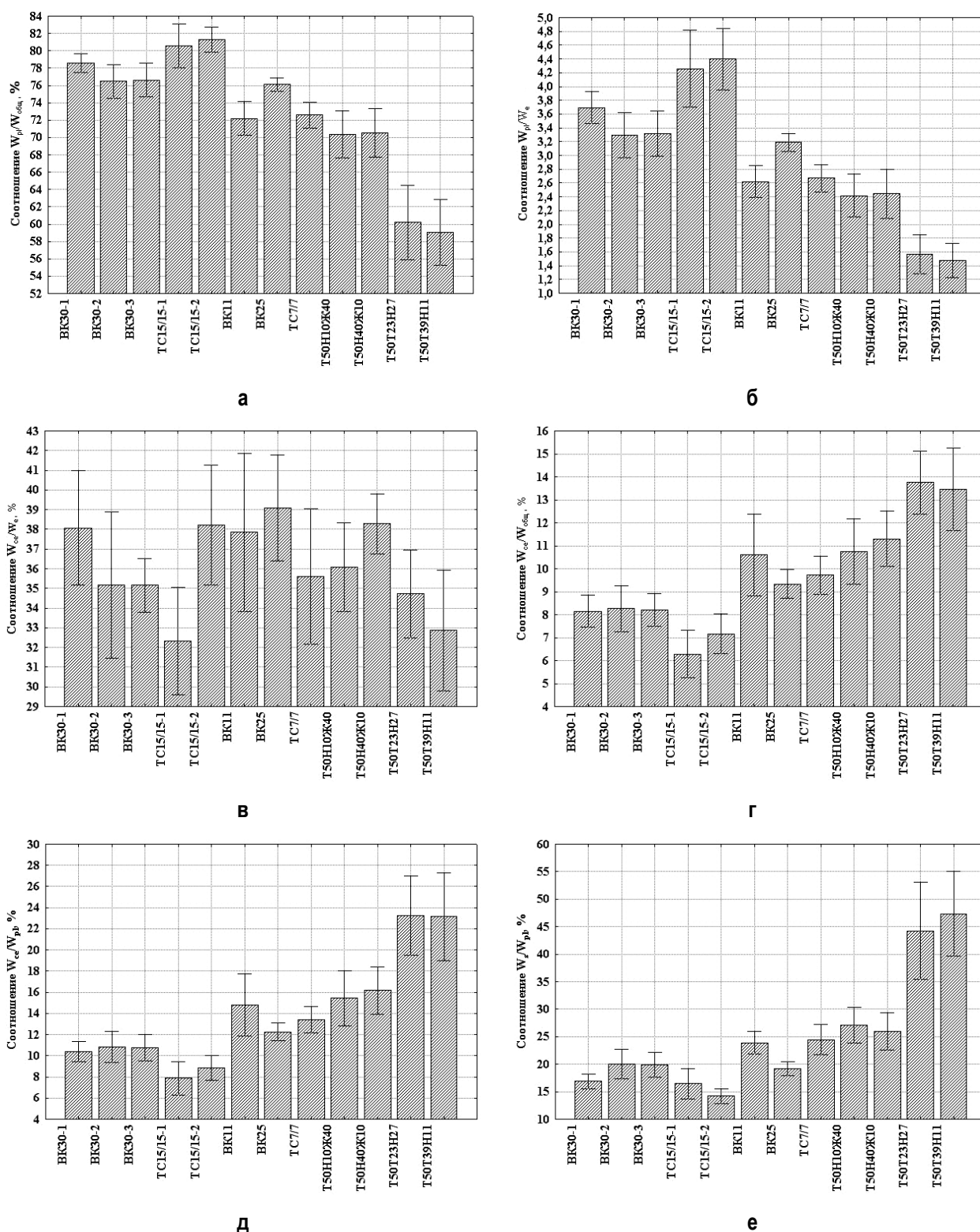


Рис. 2. Соотношение энергетических затрат при индентировании исследуемых сплавов:
 а - $W_{pl}/W_{общ}$; б - W_{pl}/W_e ; в - W_{ce}/W_e ; г - $W_{ce}/W_{общ}$; д - W_{ce}/W_{pl} ; е - W_s/W_{pl}

Среди всех определенных величин наиболее просто трактуемой является соотношение диссипированной к общей энергии индентирования

$W_{pl}/W_{общ}$. Максимальные значения $W_{pl}/W_{общ}$ демонстрирует сплав TC15/15. Более 80% прикладываемой энергии он поглощает, причем эта способ-

ность возрастает после второго цикла спекания. Сплав ВК30-1ц также способен превратить большую часть энергии 79%, но после второго и третьего цикла спекания $W_{pl}/W_{общ}$ падает до 76%.

Сплав ВК25 приближен к ВК30-2цикла и - 3цикла: $W_{pl}/W_{общ} = 76\%$.

Несколько ниже величины для сплавов ВК11 и ТС7/7 – 72 и 73% соответственно. Сплавы TiC-Ni-Fe в среднем диссипируют меньшую часть энергии, чем сплавы на основе WC, но в доверительном интервале приближаются к сплавам ВК11 и ТС7/7.

Гораздо меньшую часть энергии поглощают сплавы TiC-Ti-Fe, для которых $W_{pl}/W_{общ}$ составляет около 60%.

Остальные энергетические показатели можно разделить на две категории. К первой относятся те, которые изменяются по такой же закономерности, как и $W_{pl}/W_{общ}$, а ко второй те, которые изменяются обратно $W_{pl}/W_{общ}$ – то есть падают для тех сплавов, на которых доля диссипированной энергии возрастает.

К первой группе относятся:

а) Отношение диссипированной энергии к упруго-возвращенной W_{pl}/W_e .

б) Соотношение энергии упругой деформации в контактной зоне отпечатка ко всей энергии упругой деформации W_{ce}/W_e .

Ко второй группе относятся:

а) Соотношение энергии упругой деформации в контактной зоне отпечатка к общей энергии индентирования $W_{ce}/W_{общ}$.

б) Соотношение энергии, затраченной на упругую деформацию в контактной зоне, к диссипированной энергии W_{ce}/W_{pl} .

в) Соотношение энергии, затраченной на внеконтактную упругую деформацию, к диссипированной энергии W_s/W_{pl} .

На основании приведенных результатов была сформулирована следующая гипотеза. Поскольку повышение доли диссипированной материалом энергии относительно общей энергии процесса является свидетельством повышения способности материала поглощать и рассеивать передаваемую энергию без разрушения, то предпочтительным является увеличение $W_{pl}/W_{общ}$. Жесткость материала S , показатель пластичности δ_H , соотношения W_{pl}/W_e , W_{pl}/W_{ce} , W_{ce}/W_e растут с повышением $W_{pl}/W_{общ}$ и падают при понижении этого соотношения. Следовательно, предпочтительным является увеличение упомянутых свойств.

На основании рабочей гипотезы можно записать исследованные сплавы в ряд, в котором слева направо повышается комплекс свойств: T50T23H27, T50T39H11 → T50H40Ж10, T50H10Ж40 → ТС7/7, ВК11 → ВК30-3цикла, ВК30-1цикл → ВК30-2цикла → ТС15/15-1цикл, ТС15/15-2цикла.

Заключение

Таким образом, в работе были исследованы твердые сплавы с использованием методики кинетического индентирования. Установлен предел пропорциональности, упругая жесткость, показатель пластичности и способность сплавов превращать прилагаемую во время индентирования энергию. На основании полученных данных сформулирована гипотеза: уровень свойств сплавов растет при увеличении упругой жесткости S , показателя пластичности δ_H , соотношения диссипированной энергии к упруго-возвращенной W_{pl}/W_e , энергии упругой деформации в зоне контакта индентора с отпечатком к суммарной энергии упругой деформации W_{ce}/W_e и отношения диссипированной энергии к общей энергии индентирования $W_{pl}/W_{общ}$.

Показано, что низкими свойствами обладают сплавы на основе карбида титана (T50T23H27, T50T39H11, T50H40Ж10, T50H10Ж40), максимальными свойствами обладают сплавы на основе WC с матрицей из кобальта и никеля ТС15/15, им несколько уступают сплавы с меньшим содержанием связки (ТС7/7) и без добавок никеля (ВК11, ВК30).

Список литературы

1. ISO 14577:2002(E). Metallic materials – Instrumented indentation test for hardness and materials parameters. Part 1: Test method.
2. Min L., Wei-Min C., Nai-Gang L., Wang Ling-Dong W. A numerical study of indentation using indenters of different geometry // Journal of material research. 2004. Vol. 19. No. 1. P. 73-78.
3. Barnoush A. Correlation between dislocation density and nanomechanical response during nanoindentation // Acta materialia. 2012. Vol. 60. P. 1268-1277.
4. Milman Yu.V., Chugunova S.I., Goncharov I.V. Plasticity determined by indentation and theoretical plasticity of materials // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2009. V. 73. Iss. 9. P. 1215-1221.
5. Куц В.И., Дуб С.Н. Оценка упругопластических свойств материалов по данным наноиндентирования и компьютерного моделирования. Экспериментально-теоретическая методика // Сверхтвердые материалы. 2012. Вып. №4. С. 3-12.
6. Уравнение индентирования / Фирстов С.А., Горбань В.Ф., Печковский Э.П., Мамека Н.А. // Доповіді НАНУ. 2007. №12. С. 100-106.
7. Фирстов С.А., Горбань В.Ф., Печковский Э.П. Новые методические возможности определения механических свойств современных материалов методом автоматического индентирования // Наука та інновації. 2010. Т. 6. №5. С. 7-18.

8. Guillon G., Kermouche G., Bec S., Loubet J.-L. Determination of mechanical properties by nanoindentation independently of indentation depth measurement // *Journal of material research*. 2012. Vol. 27. No. 19. P. 2551-2560.
9. Ma D., Zhang T., Wo Ong C. Evaluation of the effectiveness of representative methods for determining Young's modulus and hardness from instrumented indentation data // *Journal of material research*. 2006. Vol. 21. No. 1. P. 225-233.
10. Malzbender J. Comment on the determination of mechanical properties from the energy dissipated during indentation // *Journal of material research*. 2005. Vol. 20. No. 5. P. 1090-1092.
11. Jha K.K., Suksawang N., Lahiri D., Agarwal A. Evaluating initial unloading stiffness from elastic work-of-indentation measured in a nanoindentation experiment // *Journal of material research*. 2013. Vol. 28. No. 6. P. 789-797.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

METHOD DEVELOPMENT FOR COMPARATIVE ASSESSMENT OF CARBIDE ALLOYS PROPERTIES USING THE BERKOVICH LOAD-DISPLACEMENT CURVE

Pashinsky Vladimir Viktorovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Donetsk National Technical University, Ukraine. Phone: 38(062)301-08-57. E-mail: vvpashynsky@gmail.com

Subbotina Mariia Gennadiyevna – Postgraduate Student, Donetsk National Technical University, Ukraine. Phone: 38(062)301-08-57. E-mail: pbm-box@mail.ru

Abstract. The search for alternative test methods for carbide alloys was caused by the difficulties in determining the mechanical properties of these materials and absence of valid criteria of their working capacity prediction. The main goal of the paper was to study carbide alloys based on TiC and WC carbides via instrumented indentation technique. The proportionality limit, elastic stiffness, plasticity index and capability to dissipate indentation energy were determined for each examined alloy. It was shown that the level of material properties was increased by growth of the following characteristics: elastic stiffness; plasticity index; ratio of dissipated energy to elastically-recovered energy; ratio of elastic energy in a contact area of an indenter with its imprint to the total elastically-recovered energy; ratio of dissipated energy to the total indentation energy. It was proved that alloys based on the TiC with Ti-Ni or Ni-Fe matrixes had lower properties than WC-based alloys with Co-Ni matrix.

Keywords: indentation, carbide alloy, instrumented indentation, dissipated energy, elastic-recovered energy.

References

1. ISO 14577:2002(E). Metallic materials – Instrumented indentation test for hardness and materials parameters. Part 1: Test method.
2. Min L., Wei-Min C., Nai-Gang L., Wang Ling-Dong W. A numerical study of indentation using indenters of different geometry. *Journal of material research*. 2004, vol. 19, no. 1. pp. 73-78.
3. Barnoush A. Correlation between dislocation density and nano mechanical response during nanoindentation. *Acta materialia*. 2012, vol. 60, pp. 1268-1277.
4. Milman Yu.V., Chugunova S.I., Goncharov I.V. Plasticity determined by indentation and theoretical plasticity of materials. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*. 2009, vol. 73, iss. 9, pp. 1215-1221.
5. Kushch V.I., Dub S.N. The Assessment of elasto-plastic properties of materials from nanoindentation and computer simulation. Experimental-and-theoretical procedure. *Sverkhverdye materialy*. [Ultra-hard Materials]. 2012, vol. №4, pp. 3-15.
6. Firstov S.A., Gorban V.F., Pechkovsky E.P., Mameka N.A. The equation of indentation *Dopovidi Nacional'noi Akademii Nauk Ukrainy* [Reports of National Academy of Sciences of Ukraine] 2007, no. 12, pp. 100-106.
7. Firstov S.A., Gorban V.F., Pechkovsky E.P. New Methodological Opportunities of Modern Materials Mechanical Properties Definition by the Automatic Indentation Method. *Nauka ta inovacii* [Science and innovations] 2010, vol. 6, iss. 5, pp. 7-18.
8. Guillon G., Kermouche G., Bec S., Loubet J.-L. Determination of mechanical properties by nanoindentation independently of indentation depth measurement. *Journal of material research*. 2012, vol. 27, no. 19, pp. 2551-2560.
9. Ma D., Zhang T., Wo Ong C. Evaluation of the effectiveness of representative methods for determining Young's modulus and hardness from instrumented indentation data. *Journal of material research*. 2006, vol. 21, no. 1, pp. 225-233.
10. Malzbender J. Comment on the determination of mechanical properties from the energy dissipated during indentation. *Journal of material research*. 2005, vol. 20, no. 5, pp. 1090-1092.
11. Jha K.K., Suksawang N., Lahiri D., Agarwal A. Evaluating initial unloading stiffness from elastic work-of-indentation measured in a nanoindentation experiment. *Journal of material research*. 2013, vol. 28, no. 6, pp. 789-797.

УДК 621.793.18

СТРУКТУРА И МИКРОТВЕРДОСТЬ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ 45 ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО МЕДНЕНИЯ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ*

Громов В.Е.¹, Иванов Ю.Ф.², Романов Д.А.¹, Будовских Е.А.¹, Ващук Е.С.¹, Денисова Ю.А.², Коновалов С.В.¹, Тересов А.Д.², Филимонов С.Ю.²

¹ Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

² Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия

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

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

Введение

Электровзрывное легирование (ЭВЛ) и электронно-пучковая обработка (ЭПО) – это методы модификации структуры, фазового состава и свойств поверхности металлов и сплавов. Инструментами воздействия на поверхность при их использовании являются импульсные многофазные плазменные струи и электронные пучки соответственно. Схема формирования упрочненных слоев на поверхности металлов и сплавов при ЭВЛ включает в себя следующие процессы: формирование импульсной многофазной плазменной струи из продуктов электрического взрыва проводников и порошковых навесок карбидов, боридов и других веществ, размещаемых на проводнике в области взрыва; оплавление поверхностных слоев и легирование расплава компонентами струи; последующую самозакалку поверхности с образованием новых фаз и соединений.

Одной из важных особенностей ЭВЛ является то, что оплавление и легирование поверхностных слоев продуктами электрического взрыва проводника происходит в условиях высокого (до 150 атм) давления плазменной струи на поверхность. Вследствие этого развиваются различные механизмы конвективного теплопереноса и достигается высокая степень леги-

рования вплоть до границы оплавления.

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

Импульсная плазменная струя, сформированная из продуктов взрыва и порошковых навесок и служащая инструментом воздействия, характеризуется наличием высокоскоростного плазменного фронта и относительно медленного тыла. Фронт оплавляет обрабатываемую поверхность, а тыл, содержащий конденсированные частицы продуктов взрыва и порошковых навесок, вносит основной вклад в степень легирования расплава. Самые медленные частицы тыла формируют на поверхности тонкий слой несплошного покрытия.

Вследствие импульсного характера ЭВЛ, радиального течения расплава от центра к периферии зоны легирования под действием неоднородного давления плазменной струи и осаждения на поверхности конденсированных частиц тыла струи после самозакалки на поверхности формируется развитый рельеф ($Ra = 3-5$ мкм). Кроме

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

того, зона легирования характеризуется незавершенностью фазовых превращений и допускает возможность ее дальнейшей модификации.

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

Импульсные многофазные плазменные струи, используемые для электровзрывного легирования, и низкоэнергетические сильноточные электронные пучки хорошо сочетаются друг с другом, имея сопоставимые значения поглощаемой плотности мощности, площади облучаемой поверхности и глубины зоны упрочнения.

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

Анализ структуры и профиля микротвердости стали 45, подвергнутой поверхностной обработке

Электровзрывное легирование, преобразуя структурно-фазовое состояние поверхностного слоя обрабатываемого материала, оказывает влияние и на его механические свойства [1]. На **рис. 1** представлены профили микротвердости стали 45 после электровзрывного меднения (кривая 1) и после ЭПО исходной поверхности, не подвергавшейся легированию (кривая 2). Здесь же горизонтальной прямой А обозначена микротвердость стали 45, закаленной с печного нагрева (850°C , 1,5 ч).

Анализируя приведенные на данном рисунке профили, можно выделить существенное различие в поведении микротвердости и, следовательно, в изменении структурно-фазового состояний поверхностных слоев стали. Зависимость микротвердости стали, подвергнутой электровзрывному меднению от расстояния до поверхности обработки, имеет явно выраженный нелинейный характер. Это позволяет выделить поверхностный слой толщиной ~ 5 мкм, микротвердость которого ниже микротвердости закаленной стали; промежуточный слой толщиной ~ 7 мкм (слой, выделенный на **рис. 1** вертикальными прямыми В и С), микротвердость которого выше или равна микротвердости закаленной стали, и переходный слой (слой термомеханического влияния) толщиной ~ 30 мкм, микротвердость которого плавно спадает до величины исходного состояния. В свою очередь, микротвердость промежуточного слоя изменяется по кривой с максимумом, располагающемся на глубине ~ 7 мкм.

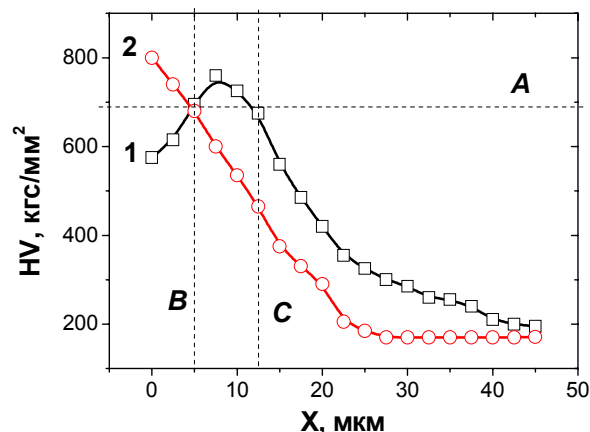


Рис. 1. Профиль микротвердости стали 45:
1 – после электровзрывного легирования медью;
2 – после электронно-пучковой обработки по режиму: 12 Дж/см²; 50 мкс; 0,3 Гц, 3 имп.
Горизонтальной прямой А обозначена микротвердость стали 45, закаленной с печного нагрева (850°C , 1,5 ч)

Микротвердость стали 45, обработанной электронным пучком, изменяется монотонным образом, достигая максимального значения на поверхности облучения (см. **рис. 1**, кривая 2). Толщина закаленного слоя, обусловленного электронно-пучковой обработкой, составляет ~ 5 мкм (см. **рис. 1**, вертикальная прямая В), что, очевидно, определено выбранным режимом электронно-пучковой обработки стали (плотностью мощности пучка электронов). При этом максимум микротвердости стали, обработанной электронным пучком, превышает максимальные значения микротвердости стали, закаленной после печного нагрева и после электровзрывного легирования. Это обусловлено, как показали электронно-микроскопические исследования [2-11], формированием ультрамелкозернистой ($0,54 \pm 0,2$ мкм) структуры на поверхности электронно-пучковой обработки (**рис. 2**). Размеры кристаллов мартенсита в таких зернах изменяются в следующих пределах: поперечные – 30-50 нм, продольные 120-500 нм.

Трактовка нелинейной зависимости микротвердости стали 45, подвергнутой электровзрывному легированию, от расстояния до поверхности обработки следует из анализа результатов, представленных в работах [12-17]. В этих работах изложены результаты послойных электронно-микроскопических исследований структуры и фазового состава армко-железа, подвергнутого электровзрывному легированию медью. Рассмотрим кратко основные закономерности эволюции структурно-фазового состояния армко-железа, подвергнутого данному виду поверхностной обработки.

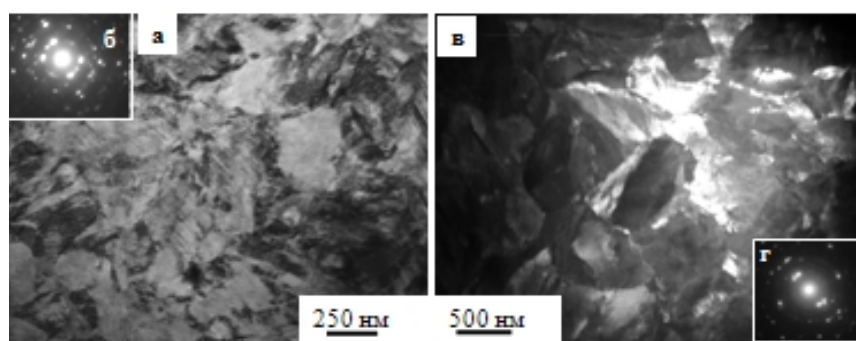


Рис. 2. Структура, формирующаяся в поверхностном слое стали 45, подвергнутой электронно-пучковой обработке (12 Дж/см²; 50 мкс; 0,3 Гц; 3 имп.): а – светлое поле; в – темное поле, полученное в рефлексе [110] α -Fe; б, г – микроэлектронogramмы к (а) и (в) соответственно, стрелкой на (г) указан рефлекс, в котором получено темное поле

В результате выполненных в работах [12-17] исследований установлено, что поверхность электровзрывного легирования армко-железа медью сформирована механической смесью оксидных (Fe_2O_3 и CuO) и карбидной (FeC) фаз железа и меди с размером кристаллитов 25-30 нм. Нижележащий подслои имеет структуру ячеистой кристаллизации, размеры ячеек которого изменяются в пределах 75-100 нм. Ячейки разделены прослойками второй фазы, толщина которых составляет 20-25 нм. Фазовый состав слоя ячеистой кристаллизации изменяется по глубине. Слой, примыкающий к поверхности легирования, сформирован окислами меди состава CuO и Cu_2O (объем ячеек кристаллизации) и оксикарбидной фазой на основе железа (прослойки, разделяющие ячейки кристаллизации). По мере удаления от поверхности легирования (снижения концентрации меди, кислорода и углерода) объемная доля ячеек кристаллизации, сформированных окислами меди, снижается. Одновременно с этим обнаруживаются ячейки кристаллизации (объемная доля которых увеличивается), образованные α -фазой (твердый раствор на основе железа). В этом случае прослойки, разделяющие ячейки, сформированы медью.

Таким образом, электровзрывное легирование армко-железа сопровождается плавлением приповерхностного слоя и насыщением расплава атомами меди, кислорода и углерода. Последующая высокоскоростная самозакалка сопровождается расслоением жидкой фазы на области, обедненные и обогащенные атомами меди. Вблизи поверхности легирования атомы меди формируют ячейки кристаллизации; по мере удаления от поверхности легирования атомы меди формируют прослойки, разделяющие ячей-

ки кристаллизации железа. Наличие углерода и кислорода в зоне легирования, по-видимому, связано с эрозией диэлектрической прокладки, разделяющей электроды плазменного ускорителя, и наличием остаточной атмосферы в технологической камере с давлением около 100 Па [1].

Подслои, примыкающий к слою ячеистой кристаллизации, имеет структуру, характерную для закаленной стали. А именно выявляется поликристаллическая структура, в объеме зерен которой наблюдаются кристаллы пластинчатого и пакетного мартенсита. При этом пластинчатый мартенсит является преобладающим типом структуры объема материала, примыкающего к слою ячеистой кристаллизации. По мере удаления от поверхности легирования пластинчатый мартенсит замещается пакетным мартенситом, что свидетельствует о снижении концентрации атомов углерода в железе.

Таким образом, анализ результатов, представленных в работах [12-17], показывает, что поверхностный слой армко-железа, обогащенного медью методом электровзрывного легирования, кристаллизуется с образованием структуры ячеистого типа; кристаллизация слоя, обогащенного железом, приводит к формированию структуры зеренного типа, закалка которой сопровождается $\gamma \Rightarrow \alpha$ превращением с образованием мартенсита. Электровзрывное легирование железа медью сопровождается обогащением расплава атомами углерода и кислорода, что приводит к образованию оксидных и оксикарбидных фаз меди и железа, а также изменению морфологии мартенсита. По мере удаления от поверхности легирования уменьшается содержание оксидных и оксикарбидных фаз, наблюдается переход от пластинчатого мартенсита к пакетному, что свидетельствует о снижении концентрации атомов кислорода и углерода.

Вполне логично предположить, что электровзрывное легирование медью армко-железа и стали 45 протекает подобным образом и сопровождается формированием близких по морфологии и структурно-фазовому составу структур. В этом случае поверхностный слой стали 45, имеющий микротвердость ниже микротвердости стали 45 после печной закалки, сформирован структурой ячеистой кристаллизации расплава,

обогащенного атомами меди, углерода и кислорода. Промежуточный слой, значения микротвердости которого превышают микротвердость стали 45 после печной закалки, очевидно, сформировался в результате скоростной закалки железа. Более высокое значение микротвердости данного слоя (относительно микротвердости закаленной стали) может быть связано как с повышенной концентрацией углерода и наличием атомов меди в этом слое, так и с диспергированием структуры приповерхностного слоя стали вследствие скоростной закалки, вызванной импульсным воздействием (длительность импульса обработки ~100 мкс) плазмы электрического взрыва проводника. Нарастание микротвердости закаленного слоя по мере удаления от поверхности обработки может означать снижение объемной доли остаточного аустенита, стабилизированного атомами меди и углерода. Последующее снижение твердости обусловлено снижением концентрации углерода в материале, о чем свидетельствует изменение морфологии мартенсита, выявленное при исследовании армко-железа [12-17]: переход от пластинчатого мартенсита, характерного для углеродистой стали, к пакетному мартенситу, характерному для низко- и среднеуглеродистой стали.

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

Последующая электронно-пучковая обработка, не изменяя элементный состав материала, позволяет преимущественно путем высокоинтенсивного термического воздействия осуществить скоростную гомогенизацию поверхностного слоя. Ниже приведены результаты исследования структуры поверхности стали 45, подвергнутой комбинированной обработке, сочетающей электровзрывное легирование медью и последующее облучение электронным пучком.

Эволюция структуры поверхности стали 45, подвергнутой комбинированной обработке в условиях вариации плотности энергии пучка электронов ($E_s = 15-30 \text{ Дж/см}^2$). Морфологию поверхности модифицированной стали анализировали методами сканирующей электронной микроскопии. В результате исследований установлено, что плавление поверхностного слоя образца (слоя, подвергнутого электровзрывному легированию) фиксируется при плотности энергии пучка электронов $E_s \sim 15 \text{ Дж/см}^2$. Это приводит, с одной стороны, к удалению микрократеров и наплывов меди, с другой стороны, формированию многочисленных капель меди сферической формы, размеры которых изменяются в пределах от 1 до 12 мкм (рис. 3, а). Последнее свидетельствует о коагуляции пленки меди, расположенной на поверхности стали. Следует отметить, что данный режим электронно-пучковой обработки не приводит к полному выглаживанию поверхности легирования – в отдельных местах образца сохраняются островки меди (рис. 3, б).

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

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

Электровзрывное легирование стали (как и любых других металлов и сплавов) приводит к формированию на поверхности обрабатываемого материала некоторого слоя, формируемого преимущественно капельной фракцией распыляемого материала.

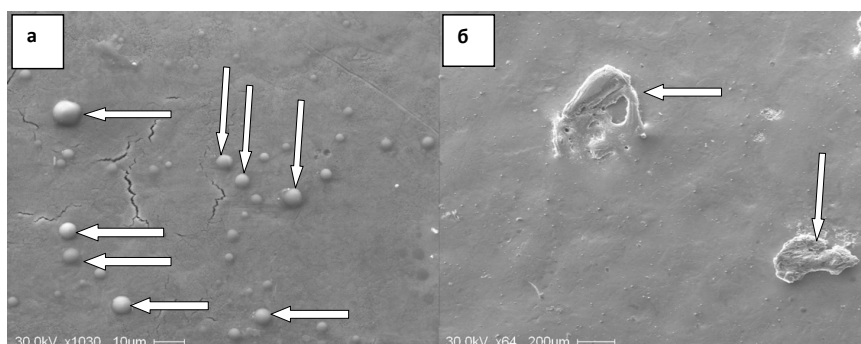


Рис. 3. Изображение поверхности образца стали 45, подвергнутого электровзрывному легированию и последующей электронно-пучковой обработке по режиму: 15 Дж/см²; 50 мкс; 0,3 Гц; 10 имп. На (а) стрелками указаны капли меди; на (б) – островки меди

Высокоскоростная кристаллизация расплава приводит к формированию дендритной структуры. Установлено, что строение дендритов зависит от плотности энергии пучка электронов (рис. 4). При обработке с плотностью энергии пучка электронов 15-20 Дж/см² преимущественно формируется дендритная структура с осями первого порядка (на поверхности облучения наблюдается так называемая структура ячеистой кристаллизации) (рис. 4, а); при большей плотности энергии дендриты имеют оси первого и второго порядка (рис. 4, б). Очевидно, что строение дендритной структуры определяется скоростью охлаждения расплава. В работе [18] показано, что оси второго порядка не образуются уже при скорости охлаждения, превышающей $\sim 10^6$ К/с. При дальнейшем увеличении скорости охлаждения происходит полное вырождение дендритного роста и стабилизация плоского фронта кристаллизации.

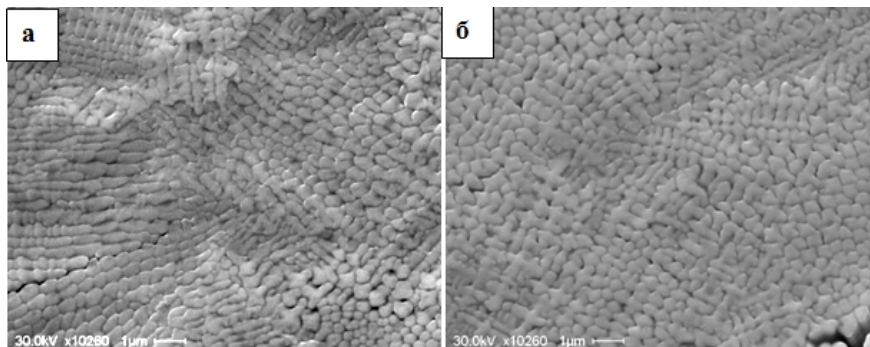


Рис. 4. Изображение структуры дендритной кристаллизации стали 45, подвергнутой электровзрывному легированию и последующей электронно-пучковой обработке при $E_s = 20$ Дж/см² (а) и $E_s = 30$ Дж/см² (б)

Увеличение плотности энергии сопровождается не только изменением морфологии дендритной структуры, но и ростом средних размеров дендритов. Выполненные оценки показывают, что дендриты минимальных средних размеров формируются при обработке поверхности стали электронным пучком с плотностью энергии $E_s = 15$ Дж/см². Увеличение плотности энергии с 15 до 30 Дж/см² (т.е. в 2 раза) сопровождается ростом средних размеров дендритов с 0,16 до 0,45 мкм, т.е. в ~ 3 раза (рис. 5, кривая 1). Выявленные факты (изменение морфологии и средних размеров дендритов) позволяют заключить, что с увеличением плотности энергии пучка электронов в интервале от 15 до 30 Дж/см² наблюдается снижение скорости охлаждения поверхностного слоя стали.

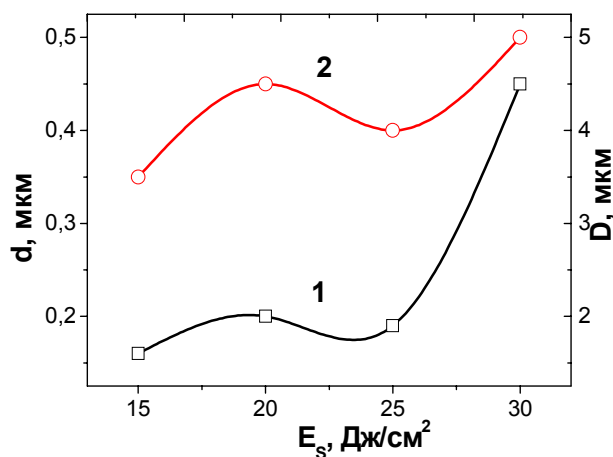


Рис. 5. Зависимость средних размеров дендритов d (кривая 1) и зерен D (кривая 2) от плотности энергии пучка электронов

Скорость охлаждения образца оказывает влияние и на средние размеры зерен поверхностного слоя стали. Однако такой явной зависимости, как для элементов дендритной структуры, не наблюдается. Как следует из анализа результатов, представленных на рис. 5, кривая 2, средний размер зерен в рассмотренном интервале изменения плотности энергии пучка электронов увеличивается незначительно (в $\sim 1,4$ раза). В работе [18] подобное обстоятельство объясняется тем, что размер зерен в закристаллизовавшемся слое зависит не только от скорости охлаждения (величины переохлаждения), но и от числа активных центров зарождения зерен (кристаллитов) в расплаве.

Следует заметить, что в быстро закристаллизованных сплавах выявление границ зерен весьма затруднительно и часто требует использования специально разработанных травителей. Нередко зерна принимают за ячейки кристаллизации (дендриты первого порядка), а ячейки кристаллизации за зерна. В настоящей работе зерна выявляли методами сканирующей электронной микроскопии при анализе дендритной структуры стали. Характерное изображение зеренной структуры поверхностного слоя стали 45, формирующейся при электронно-пучковой обработке, приведено на рис. 6.

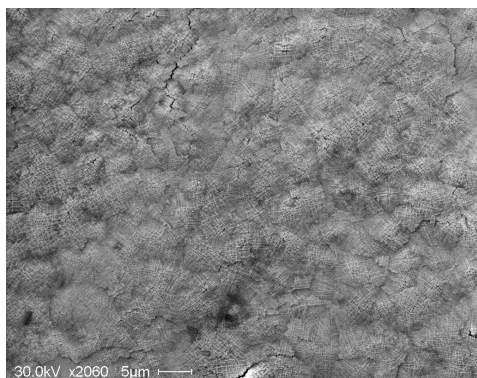


Рис. 6. Структура поверхности стали 45, подвергнутой электровзрывному легированию и электронно-пучковой обработке при плотности энергии пучка электронов $E_s = 25$ Дж/см². Сканирующая электронная микроскопия

Электронно-пучковая обработка стали сопровождается формированием на поверхности микротрещин. Причиной этому являются термические напряжения, формирующиеся в поверхностном слое материала вследствие высоких скоростей охлаждения. При плотности энергии пучка электронов $E_s \sim 15$ Дж/см² трещины располагаются хаотически, количество их незначительно. При больших значениях E_s трещины разбивают поверхность образца на фрагменты, средние размеры которых изменяются в пределах 45-50 мкм и практически не зависят от плотности энергии пучка электронов (рис. 7). Величина плотности энергии пучка электронов сказывается, по-видимому, на глубине микротрещин. Анализируя микрофотографии поверхности стали, приведенные на рис. 7, можно отметить факт «заплывания» микротрещин при обработке стали электронным пучком с плотностью энергии ~ 30 Дж/см².

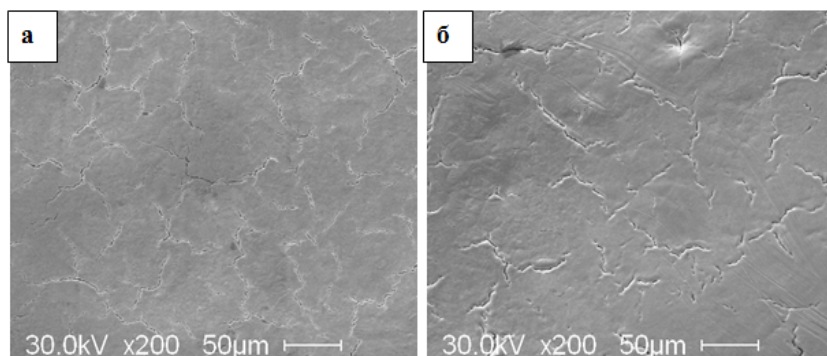


Рис. 7. Сетка микротрещин, формирующаяся на поверхности стали, обработанной электронным пучком при плотности энергии пучка электронов 20 Дж/см² (а) и 30 Дж/см² (б)

Элементный состав поверхностного слоя модифицированной стали анализировали, используя энергодисперсионный рентгеновский микроанализатор EDAX ECON IV, являющийся приставкой сканирующего электронного микроскопа Philips SEM 515. На рис. 8 приведен характерный пример рентгеноспектрального микроанализа образца стали 45, подвергнутой комплексной обработке, состоящей в электровзрывном легировании медью и последующей электронно-пучковой обработке поверхности легирования. Отчетливо видны рентгеновские пики, принадлежащие железу (FeK) и меди (CuK). В правом верхнем углу в виде таблицы представлен отчет об относительном содержании в анализируемом объеме материала атомов железа и меди в весовых и атомных процентах.

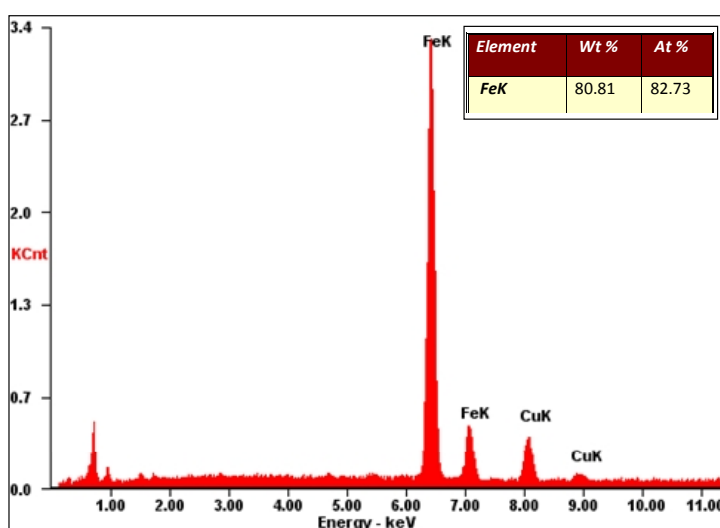


Рис. 8. Энергетический спектр участка поверхности образца стали 45, подвергнутой электровзрывному легированию медью и последующей электронно-пучковой обработке по режиму: 20 Дж/см², 50 мкс, 0,3 Гц; 50 имп. Спектр получен на рентгеновском микроанализаторе EDAX ECON IV, приставке сканирующего электронного микроскопа Philips SEM 515

На рис. 9 приведена диаграмма, демонстрирующая изменение концентрации меди в поверхностном слое стали 45, подвергнутой электровзрывному легированию и последующей электронно-пучковой обработке. Из анализа представленных результатов следует, что в поверхностном слое толщиной 4-5 мкм (толщина слоя стали, подвергающегося анализу при использовании микроанализатора EDAX ECON IV) средняя концентрация меди уменьшается от ~ 14 вес. % при

плотности энергии пучка электронов $E_s = 15$ Дж/см² до 5,6 вес. % – при $E_s = 30$ Дж/см². Следует также напомнить, что на поверхности стали, обработанной электронным пучком при $E_s = 15$ Дж/см², присутствуют капли и островки, концентрация меди в которых может достигать 100 вес. %.

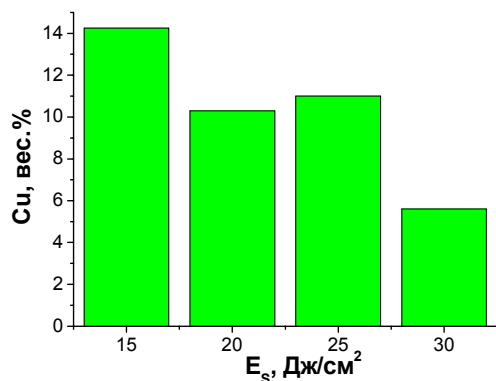


Рис. 9. Диаграмма, демонстрирующая изменение концентрации меди в поверхностном слое стали 45, подвергнутой электровзрывному легированию и последующей электронно-пучковой обработке при различной плотности энергии пучка электронов (50 мкс, 0,3 Гц, 10 имп.)

Механические свойства поверхностного слоя модифицированной стали характеризовали, измеряя микротвердость. Анализируя результаты, представленные на рис. 10, можно отметить, что высокоскоростная кристаллизация стали, легированной медью, и последующее охлаждение не всегда приводит к закалке поверхностного слоя. Твердость поверхностного слоя стали, не обработанной электронным пучком и обработанной электронным пучком при плотности энергии пучка электронов $E_s = 15$ Дж/см², несколько ниже твердости стали 45, закаленной в воде с печного нагрева, и существенно ниже твердости стали, обработанной электронным пучком при плотности энергии пучка электронов $E_s = 20-30$ Дж/см². Сопоставляя результаты, представленные на рис. 9 и 10, можно обнаружить связь между концентрацией меди в поверхностном слое стали и величиной микротвердости. А именно высоким значениям концентрации меди соответствуют сравнительно низкие значения микротвердости поверхностного слоя.

Функциональная зависимость, связывающая концентрацию меди в поверхностном слое и микротвердость поверхности облучения представлена на рис. 11. Отчетливо видно, что микротвердость поверхностного слоя стали снижается с увеличением в нем концентрации меди. Однако линейная корреляция между данными

характеристиками стали не выявляется, что может указывать на опосредованное (через изменение параметров структуры и фазового состава) влияние атомов меди на твердость исследуемой стали, формируемой в условиях высокоэнергетического воздействия.

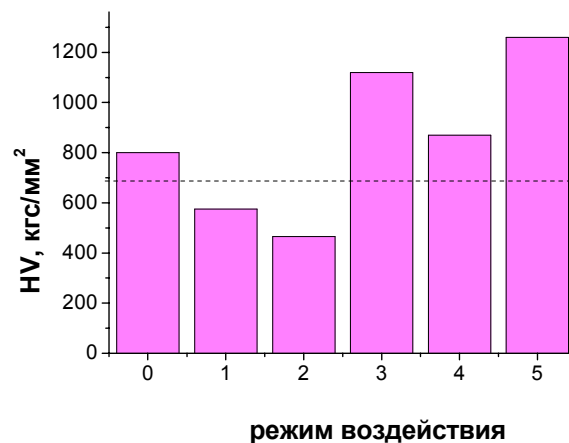


Рис. 10. Микротвердость поверхностного слоя стали 45, подвергнутой различным видам воздействия: 0 – электронно-пучковой обработке (12 Дж/см², 50 мкс, 0,3 Гц, 3 имп.); 1 – электровзрывному легированию медью; 2-5 – электровзрывному легированию медью и последующей электронно-пучковой обработке ($N = 10$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

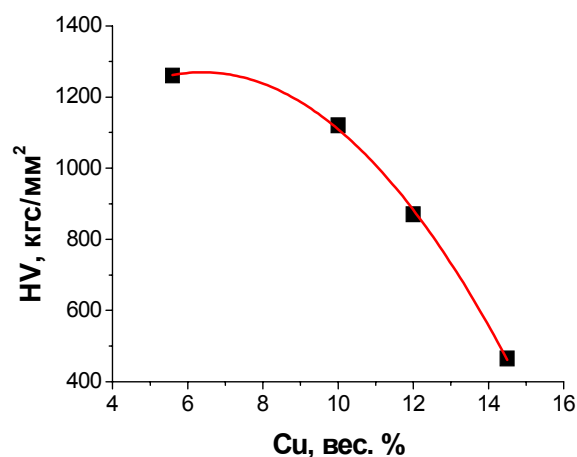


Рис. 11. Зависимость микротвердости поверхности стали 45, подвергнутой комплексной обработке, состоящей в электровзрывном легировании и последующей электронно-пучковой обработке, от концентрации меди в поверхностном слое

Эволюция морфологии поверхности стали 45, подвергнутой комбинированной обработке, в условиях вариации количества импульсов воздействия пучка электронов ($N = 5-50$ имп.). Морфологию поверхности модифицированной стали анализировали методами сканирующей электронной микроскопии. Как было показано выше, обработка поверхности электровзрывного легирования электронным пучком с плотностью энергии пучка электронов 20 Дж/см^2 и выше сопровождается повсеместным плавлением поверхностного слоя стали. После 5-15 импульсов воздействия пучка электронов островки и наплывы меди, присутствующие на поверхности стали, подвергнутой электровзрывному легированию, методами сканирующей микроскопии не выявляются. Поверхность образцов стали полностью выглаживается (рис. 12, а). После 25 им-

пульсов воздействия пучка электронов на поверхности наблюдается большое количество кратеров (рис. 12, б), которые выявляются и после 50 импульсов воздействия.

Высокоскоростная кристаллизация расплава, как уже отмечалось выше, приводит к формированию дендритной структуры. Обнаружено, что строение дендритов зависит от количества импульсов воздействия пучка электронов (см. рис. 4). При количестве импульсов воздействия, изменяющемся в пределах 5-15, на поверхности стали преимущественно формируется дендритная структура с осями первого порядка (наблюдается так называемая структура ячеистой кристаллизации) (рис. 13, а). При большем числе импульсов воздействия пучка электронов (25 и 50 имп.) дендриты преимущественно имеют оси первого и второго порядка (рис. 13, б).

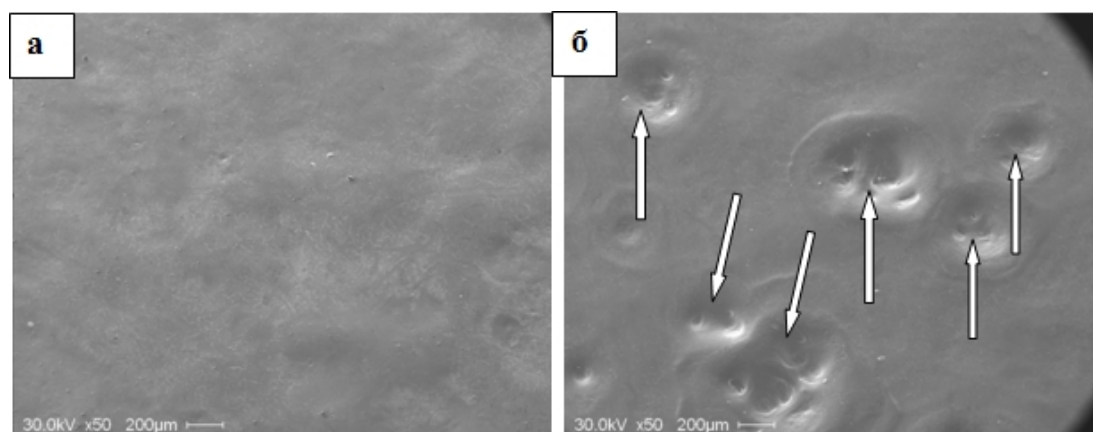


Рис. 12. Изображение поверхности образца стали 45, подвергнутого электровзрывному легированию и последующей электронно-пучковой обработке по режиму: 20 Дж/см^2 , 50 мкс, 0,3 Гц при 15 (а) и 25 (б) импульсах воздействия пучка электронов. На (б) стрелками указаны микрократеры

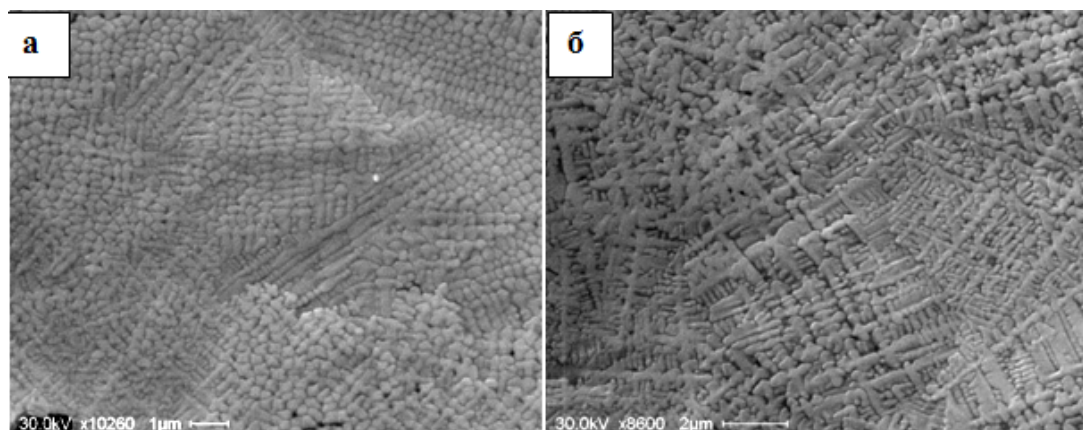


Рис. 13. Изображение структуры дендритной кристаллизации стали 45, подвергнутой электровзрывному легированию и последующей электронно-пучковой обработке при 5 (а) и 50 (б) импульсах воздействия ($E_s = 20 \text{ Дж/см}^2$, 50 мкс, 0,3 Гц)

Строение дендритной структуры, как отмечалось выше, определяется скоростью охлаждения расплава. Следовательно, увеличение количества импульсов воздействия пучка электронов на поверхность образца стали 45 приводит к снижению скорости его охлаждения. Увеличение количества импульсов воздействия пучка электронов практически не оказывает влияния на средние размеры дендритов (рис. 14, кривая 1) и приводит к незначительному росту средних размеров зерен (рис. 14, кривая 2).

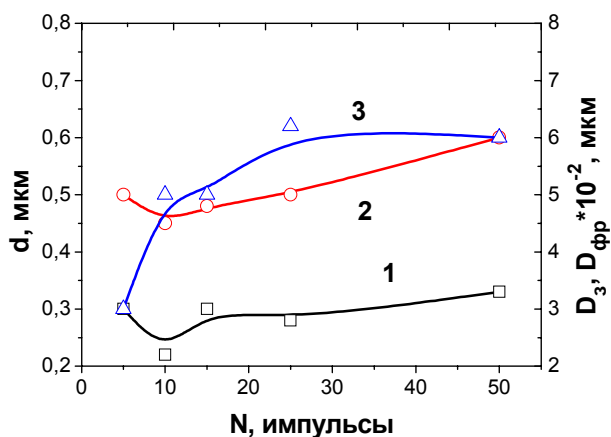


Рис. 14. Зависимость средних размеров дендритов d (кривая 1), зерен D_z (кривая 2) и фрагментов $D_{фр}$ (кривая 3) от количества импульсов воздействия пучка электронов

Электронно-пучковая обработка стали сопровождается, как отмечалось выше, формированием на поверхности облучения образца микротрещин, делящих поверхность образца на фрагменты. Средние размеры фрагментов изменяются в пределах 30–60 мкм и увеличиваются с ростом количества импульсов воздействия пучка электронов (рис. 14, кривая 3). Данный факт подтверждает высказанное выше предположение о снижении скорости охлаждения образцов стали 45 при увеличении количества импульсов облучения. Не смотря на то, что увеличение количества импульсов воздействия пучка электронов приводит к снижению линейной плотности микротрещин (росту средних размеров фрагментов), глубина их, судя по величине раскрытия микротрещин, по-видимому, увеличивается (см. рис. 1).

Элементный состав поверхностного слоя модифицированной стали анализировали, как отмечалось выше, используя энергодисперсионный рентгеновский микроанализатор EDAX ECON IV, являющийся приставкой сканирующего электронного микроскопа Philips SEM 515. На рис. 15 приведена диаграмма, демонстрирующая

изменение концентрации меди в поверхностном слое стали 45, подвергнутой электровзрывному легированию и последующей электронно-пучковой обработке. Из анализа представленных результатов следует, что с увеличением количества импульсов воздействия пучка электронов концентрация меди в поверхностном слое толщиной 4–5 мкм (толщина слоя стали, подвергающегося анализу при использовании микроанализатора EDAX ECON IV) устойчиво возрастает с ~8 вес. % при 5 имп. воздействия до 18 вес. % при 50 имп., т.е. более чем в 2 раза. Можно предположить, что одной из причин выявленного увеличения концентрации меди в поверхностном слое стали является вытеснение атомов меди из приповерхностного объема образца при многократном его плавлении. В металлургии стали данный процесс носит название рафинирования (очистки) расплавов от вредных или нежелательных элементов (электроннолучевой переплав) [19].

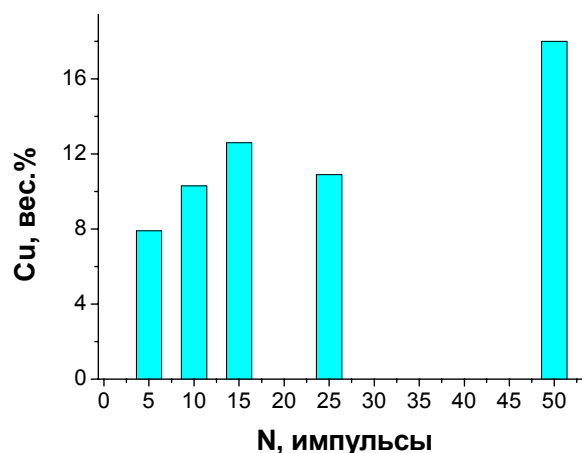


Рис. 15. Диаграмма, демонстрирующая изменение концентрации меди в поверхностном слое стали 45 после электровзрывного легирования и последующей электронно-пучковой обработке при различном количестве импульсов воздействия пучка электронов (20 Дж/см², 50 мкс; 0,3 Гц)

Анализируя результаты, представленные на рис. 16, можно отметить, что высокоскоростная кристаллизация стали, легированной медью, и последующее охлаждение сопровождаются существенным (превышающим в ~1,5 раза твердость стали 45, закаленной с печного нагрева) ростом твердости поверхностного слоя лишь при малых количествах импульсов воздействия пучка электронов (5 и 10 имп.). Дальнейшее увеличение количества импульсов облучения сопровождается существенным снижением твердости поверхностного слоя стали.

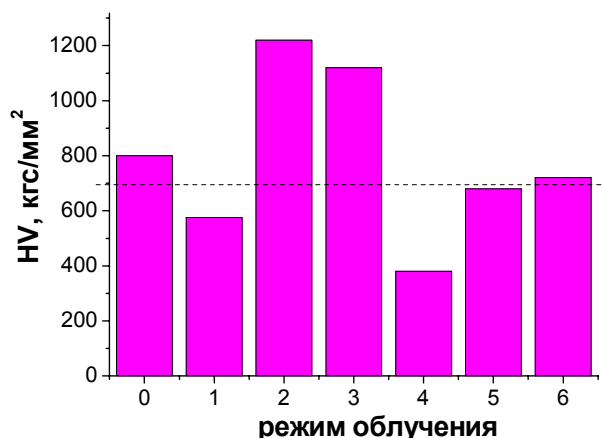


Рис. 16. Микротвердость поверхностного слоя стали 45, подвергнутой различным видам воздействия: 0 – электронно-пучковой обработке (12 Дж/см^2 , 50 мкс, 0,3 Гц, 3 имп.); 1 – электровзрывному легированию медью; 2-6 – электровзрывному легированию медью и последующей электронно-пучковой обработке ($E_s = 20 \text{ Дж/см}^2$, $\tau = 50 \text{ мкс}$, 0,3 Гц) при $N = 5$ (2); 10 (3); 15 (4); 25 (5); 50 (6) импульсов воздействия пучка электронов. Горизонтальной прямой обозначена микротвердость стали 45, закаленной с печного нагрева (850°C , 1,5 ч)

Сопоставляя результаты, представленные на рис. 15 и 16, можно обнаружить связь между концентрацией меди в поверхностном слое стали и величиной микротвердости. А именно высокими значениями концентрации меди соответствуют низкие значения микротвердости поверхностного слоя (рис. 17).

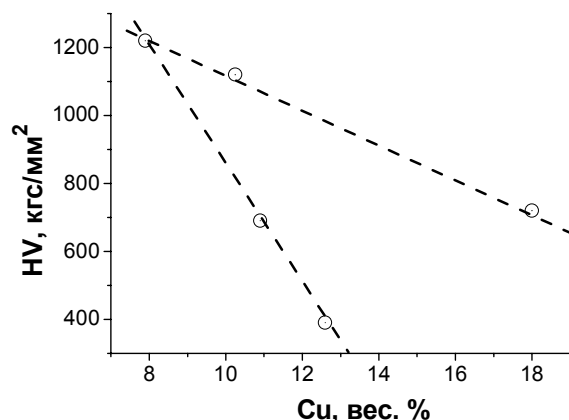


Рис. 17. Зависимость твердости поверхностного слоя стали 45, подвергнутой электровзрывному легированию медью и последующей электронно-пучковой обработке, от концентрации меди в стали. Вариация по количеству импульсов облучения при $E_s = 20 \text{ Дж/см}^2$, 50 мкс, 0,3 Гц

Однако корреляция между данными характеристиками стали незначительна, что может указывать на опосредованное (через изменение параметров структуры и фазового состава) влияние меди на твердость поверхностного слоя стали 45.

Выводы

1. Электровзрывное легирование стали 45 сопровождается насыщением поверхностного слоя атомами меди, углерода и кислорода. Последующее высокоскоростное охлаждение стали сопровождается расслоением жидкой фазы и формированием поверхностного слоя со структурой ячеистой кристаллизации. Толщина слоя ячеистой кристаллизации составляет $\sim 5 \text{ мкм}$. Толщина слоя закаленной стали 45, расположенного на глубине $\sim 5 \text{ мкм}$, составляет $\sim 7 \text{ мкм}$.

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

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

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

Список литературы

1. Физические основы электровзрывного легирования металлов и сплавов / А.Я. Багаутдинов, Е.А. Будовских, Ю.Ф. Иванов, В.Е. Громов. Новокузнецк: Изд-во СибГИУ, 2007. 301 с.
2. Иванов Ю.Ф., Коваль Н.Н. Низкоэнергетические электронные пучки субмиллисекундной длительности: получение и некоторые аспекты применения в области материаловедения // Структура и свойства перспективных металлических материалов / под общ. ред. А.И. Потекаева. Томск: Изд-во НТЛ, 2007. С. 345-382.
3. Электронно-пучковая модификация поверхности сталей и твердых сплавов / Григорьев С.В., Коваль Н.Н., Иванов Ю.Ф., Девятков В.Н., Тересов А.Д., Колубаева Ю.А. // Плазменная эмиссионная электроника: труды II международного кейнде-

- левского семинара, Улан-Удэ, 17-24 июня 2006 г. Улан-Удэ, 2006. С. 113-120.
4. Импульсно-периодическая электронно-пучковая обработка закаленной стали / Колубаева А.В., Иванов Ю.Ф., Девятков В.Н., Коваль Н.Н. // Изв. вузов. Черная металлургия. 2007. №8. С. 30-136.
 5. Низкоэнергетические сильноточные электронные пучки субмиллисекундной длительности: получение и применение / Коваль Н.Н., Иванов Ю.Ф., Григорьев С.В., Девятков В.Н., Колубаева Ю.А. // Физика импульсных разрядов в конденсированных средах: Материалы XIII Междунар. науч. школы-семинара, 21-25 августа, 2007 г., г. Николаев, Украина. Николаев, 2007. С. 38-42.
 6. Структура, фазовый состав и свойства сталей, обработанных низкоэнергетическим сильноточным электронным пучком субмиллисекундной длительности / Иванов Ю.Ф., Коваль Н.Н., Григорьев С.В., Колубаева Ю.А. // Физика импульсных разрядов в конденсированных средах: Материалы XIII Междунар. науч. школы-семинара, 21-25 августа, 2007 г., г. Николаев, Украина. Николаев, 2007. С. 42-46.
 7. Иванов Ю.Ф. Закономерности и механизмы формирования нано- и субмикроструктурной многофазной структуры в поверхностных слоях металлов и сплавов при импульсной электронно-пучковой обработке // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2008. №1. С. 47-52.
 8. Модификация поверхностного слоя стали при электронно-лучевой обработке / Иванов Ю.Ф., Колубаева Ю.А., Коновалов С.В., Коваль Н.Н., Громов В.Е. // Металловедение и термическая обработка металлов. 2008. №12(642). С. 10-16.
 9. Модификация низкоэнергетическим сильноточным электронным пучком поверхности стали, легированной электровзрывным методом / Ю.Ф. Иванов, Ю.А. Колубаева, А.Д. Тересов и др. // Упрочняющие технологии и покрытия. 2009. №2. С. 41-45.
 10. Коваль Н.Н., Иванов Ю.Ф. Низкоэнергетические сильноточные электронные пучки субмиллисекундной длительности: некоторые аспекты применения в области материаловедения // Становление и развитие научных исследований в высшей школе: сб. науч. трудов Междунар. конф. Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2009. Т.2. С. 214-220.
 11. Обработка стали высокоинтенсивным электронным пучком / Коваль Н.Н., Колубаева Ю.А., Тересов А.Д., Григорьев С.В., Девятков В.Н., Иванов Ю.Ф. // Сборник научных работ НУК. Николаев: НУК, 2009. №3 (426). С. 47-54.
 12. Влияние параметров электронно-пучковой обработки на микротвердость поверхности стали 45 после электровзрывного легирования / Вострецова А.В., Ващук Е.С., Будовских Е.А., Иванов Ю.Ф., Громов В.Е. // Материаловедение и термическая обработка металлов: междунар. сб. науч. тр. / под ред. А.Н. Емельяшина и Е.В. Петровича. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. С. 209-212.
 13. Морфологические особенности кристаллизации поверхностных слоев железа и никеля при электровзрывном легировании / О.А. Цвиркун, Е.А. Будовских, А.Я. Багаутдинов и др. // Изв. вузов. Черная металлургия. 2007. №6. С. 40-45.
 14. Градиентное состояние поверхностных слоев железа и никеля после электровзрывного легирования / А.Я. Багаутдинов, О.А. Цвиркун, Е.А. Будовских и др. // Металлург. 2007. №3. С. 52-57.
 15. Особенности формирования поверхностных слоев металлов и сплавов при электровзрывном легировании / Багаутдинов А.Я., Будовских Е.А., Иванов Ю.Ф., Громов В.Е. // Структура и свойства перспективных металлических материалов / под общ. ред. А.И. Потекаева. Томск: Изд-во НТЛ, 2007. С. 195-212.
 16. Будовских Е.А., Иванов Ю.Ф., Громов В.Е. Формирование нанокompозитных слоев на поверхности железа и никеля при электровзрывном легировании // Эволюция структуры и свойств металлических материалов / под общ. ред. А.И. Потекаева. Томск: Изд-во НТЛ, 2007. С. 289-306.
 17. Особенности импульсной электронно-пучковой обработки поверхности электровзрывного легирования стали 45 и титана / Будовских Е.А., Ващук Е.С., Вострецова А.В., Громов В.Е., Иванов Ю.Ф., Карпий С.В. // Структурно-фазовые состояния перспективных металлических материалов / отв. ред. В.Е. Громов. Новокузнецк: Изд-во НПК, 2009. С. 28-41.
 18. Мирошниченко И.С. Закалка из жидкого состояния. М.: Металлургия, 1982. 168 с.
 19. Бигеев А.М. Металлургия стали. Теория и технология плавки стали. М.: Металлургия, 1977. 440 с.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

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

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

Ivanov Yuriy Fedorovich – D.Sc. (Phys.-Math.), Professor, Institute of High Current Electronics SB RAS, Tomsk, Russia. Phone: (3843) 78-43-66. E-mail: yufi55@mail.ru.

Romanov Denis Anatolievich – Ph.D. (Eng.), Assistant Professor, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia.

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

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

Denisova Yuliya Aleksandrovna – Student, Institute of High Current Electronics SB RAS, Tomsk, Russia.

Kononov Sergey Valerievich – D.Sc. (Eng.), Professor, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia.

Teresov Anton Dmitrevich – Research Associate, Institute of High Current Electronics SB RAS, Tomsk, Russia.

Filimonov Simon Yurevich – Ph.D. (Eng.), Researcher at the Institute of High Current Electronics SB RAS, Tomsk, Russia.

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

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

References

1. Bagautdinov A.Ya., Budovskikh Ye.A., Ivanov Yu. F., Gromov V.Ye. *Fizicheskie osnovy e'lektrovzryvnogo legirovaniya metallov i spлавov* [The physical basis of electroexplosive alloying of metals and alloys]. Novokusnetsk, SibSIU, Publ. House, 2007, 301 p.
2. Ivanov Yu.F., Koval N.N. Low-energy electron beams submillisecond duration: production and some aspects of application in the field of materials science. *Struktura i svoystva perspektivnykh metallicheskh materialov* [The structure and properties of advanced metallic material]. Ed. A.I. Potekayev. Tomsk, Publ. House NTL, 2007, pp. 345-382.
3. Grigoriev S.V., Koval N.N., Ivanov Yu.F., et al. Electron beam modification of the surface of steel and hard alloys. *Plazmennaya e'missionnaya e'lektronika: trudy II mezhdunarodnogo kreindel'evskogo seminar* [Plasma emission electronics. Proceedings of II International «kreindel'evsky seminar»]. Ulan-Ude, 2006, pp. 113-120.
4. Kolubaeva A.V., Ivanov Yu.F., Deviatkov V.N., Koval N.N. Pulse-periodic electron beam machining of hardened steel. *Chyornaya metallurgiya* [Proceedings of the universities. Ferrous metallurgy], 2007, no. 8, pp. 30-136.
5. Koval N.N., Ivanov Y.F., Grigoriev S.V., Devyatkov V.N., Kolubaeva Y.A. Low-energy high-current electron beams of submillisecond duration: preparation and use. *Fizika impul'snykh razryadov v kondensirovannykh sredah: Materialy XIII Mezhdunar. nauch. shkoly-seminara*. [Physics of pulsed discharges in condensed matter: Proceedings of XIII Intern. Scientific School-Seminar], August 21-25, 2007, Nikolaev, Ukraine, pp. 38-42.
6. Ivanov Y.F., Koval N.N., Grigoriev S.V., Kolubaeva Y.A. Structure, phase composition and properties of steels, treated with low-energy high-current electron beam of submillisecond duration. *Fizika impul'snykh razryadov v kondensirovannykh sredah: Materialy XIII Mezhdunar. nauch. shkoly-seminara*. [Physics of pulsed discharges in condensed matter: Proceedings of the XIII Intern. Scientific School-Seminar]. August 21-25, 2007, Nikolaev, Ukraine, pp. 42-46.
7. Ivanov Y.F. Regularities and mechanisms the formation of nano- and submicrocrystalline multiphase structure in the surface layers of metals and alloys under pulsed electron beam processing. *Fundamental'nye problemy sovremennogo materialovedeniya* [Fundamental Problems of modern materials]. 2008, no. 1, pp. 47-52.
8. Ivanov Y.F., Kolubaeva Yu.A., Kononov S.V., Koval N.N., Gromov V.E. Modification of the steel surface layer during electron beam processing. *Materialovedenie i termicheskaya obrabotka metallov* [Physical metallurgy and heat treatment of metals]. 2008, no. 12 (642), pp. 10-16.
9. Ivanov Yu.F., Kolubaeva Yu.A., Teresov A.D., et al. Modification using low-energy high-current electron beam of steel surface, alloyed with electric blasting method. *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya* [Hardening technology and coatings]. 2009, no. 2, pp. 41-45.
10. Koval N.N., Ivanov Yu.F. Low-energy high-current electron beams of submillisecond duration: some aspects of application in the field of materials science. *Stanovlenie i razvitie nauchnykh issledovaniy v vysshej shkole: sb. nauch. trudov Mezhdunar. konf.* [Formation and development of scientific research in higher education: Proceedings of International Conference]. Tomsk: Publishing house of Tomsk Polytechnic University, 2009, vol. 2, pp. 214-220.
11. Koval N.N., Kolubaeva Yu.A., Teresov A.D., Grigoriev S.V., Devyatkov V.N., Ivanov Yu.F. Steel processing by high-intensity electron beam. *Zbirnik naukovykh prac' NUK* [Transactions of scientific works of the NUS]. Mikolaiv, 2009, no. 3(426), pp. 47-54.
12. Vostrezova A.V., Vashuk E.S., Budovskikh E.A., Ivanov Yu.F., Gromov V.E. The influence of electron-beam treatment parameters on the surface microhardness of steel 45 after electroexplosive copper plating. *Materialovedenie i termicheskaya obrabotka metallov: mezhdunar. sb. nauch. tr.* [Materials and heat treatment of metals: Intern. Scientific Proceedings. Ed. Emelyushin A.N. and Petrochenko E.V.]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2009, pp. 209-212.
13. Tsvirkun O.A., Budovskikh E.A., Bagautdinov A.Ja. et al. The crystallization morphological features of the iron and nickel surface layers in electroexplosive doping. *Chyornaya metallurgiya* [Proceedings of the universities. Ferrous metallurgy], 2007, no. 6, pp. 40-45.
14. Gradient state of the iron and nickel surface layers after electroexplosive doping / Bagautdinov A.Ya., Tsvirkun O.A., Budovskikh EA et al. *Metallurg* [Metallurg]. 2007, no. 3, pp. 52-57.
15. Bagautdinov A.Ya., Budovskikh E.A., Ivanov Yu.F., Gromov V.E. Formation features of metals and alloys surface layers by electroexplosive doping. *Struktura i svoystva perspektivnykh metallicheskh materialov* [Structure and properties of advanced metallic materials. Ed. oPotekaev A.I.]. Tomsk, 2007, pp. 195-212.
16. Budovskikh EA Ivanov, Yu.F., Gromov V. E. Formation of nanocomposite layers on the surface of iron and nickel in electroexplosive doping. *Evolutsiya struktury i svoystv metallicheskh materialov* [The evolution of the structure and properties of metallic materials. Ed. of Potekaev A.I.]. Tomsk, 2007, pp. 289-306.
17. Budovskikh E.A., Vashuk E.S., Vostrezova A.V., Gromov V.E., Ivanov Yu.F., Karpj S.V. Features of pulse electron beam surface treatment by electroexplosive alloying of steel 45 and titanium. *Strukturalno-fazovye sostoyaniya perspektivnykh metallicheskh materialov* [Structural and phase states of promising metallic materials. Ed. Gromov V.E.]. Novokuznetsk, 2009. pp. 28-41.
18. Miroshnichenko I.S. *Zakalka iz zhidkogo sostoyaniya* [Hardening from the liquid state]. Moscow: Metallurgy, 1982, 168 p.
19. Bigeyev A.M. *Metallurgiya stali. Teoriya i tekhnologiya plavki stali* [Metallurgy of the steel. Theory and technology of melting steel]. Moscow, Metallurgy, 1977, 440 p.

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

УДК 658:669.131.7

ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЧУГУННЫХ СТЕКЛОФОРМ МЕТОДАМИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ

Леушин И.О., Нищёнков А.В., Чистяков Д.Г.

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Аннотация. В статье рассматривается процесс изготовления и эксплуатации деталей чугунных стеклоформ, применяемых для массового производства стеклянной тары. Выявлены тенденции к росту потребительского спроса на стеклянную тару, повышению эксплуатационного ресурса деталей стеклоформ и необходимости проведения исследований в этой области. Излагается необходимость сравнения действующих технологий изготовления деталей формовых комплектов и способа изготовления деталей стеклоформ с градиентной структурой литья. В качестве критериев оценки применялись методы Парето, Борда и БОФа.

Ключевые слова: деталь, стеклоформа, чугун, экономический эффект, оценка.

Введение

Современное представление о совершенствовании комплекса свойств чугунных деталей стеклоформ (рис. 1), применяемых для массового выпуска стеклянной тары по методу «double blow» (двойного выдувания) и работающих при знакопеременных термических и ударных механических нагрузках, базируется на внедрении физических методов обработки уже готовых деталей: лазерное упрочнение, вакуумное ионно-плазменное напыление и т.п.

При этом совершенствованию технологии изготовления литых заготовок (структуризации материала чугуна в процессе литья и его термической обработки, формированию прочной зеренной структуры и фаз на этапе уже изготовления отливок и тому подобное) уделяется минимальное внимание ввиду устоявшегося мнения, что потенциал чугуна как конструкционного и функционального материала исчерпан. Благодаря такому подходу к решению проблемы повышения эксплуатационной стойкости деталей ключевые позиции в технологической цепочке их изготовления занимают операции борирования, напыления, газового порошкового наплавления и т.д., а в процессе ремонта – перешли-

фовка, заварка, химическое перетравление и т.п., то есть процедуры устранения эксплуатационных дефектов (разрывов сплошностей – трещин разгара, зон интенсивного окисления, коробления), вызванные невысокой надежностью работы материала – основы детали.

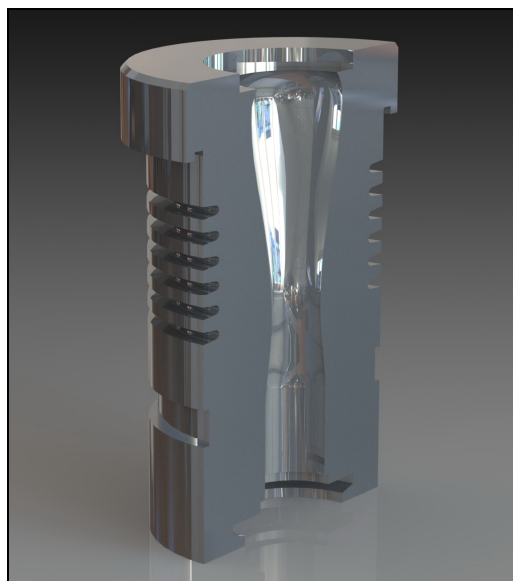


Рис. 1. Деталь стеклоформы («полуформа» формового комплекта)

Ввиду этого весомую часть себестоимости изготовления таких деталей (до 10 тыс. руб./ед. продукции) занимают затраты на «доведение» полученных при изготовлении свойств деталей до потребительского уровня на стадии упрочнения рабочих кромок и поверхностей стеклоформ.

Тенденция роста спроса на стеклотарную продукцию (рис. 2) обязывает стекольные заводы идти по пути максимизации эксплуатационного ресурса стеклоформирующей оснастки при наименьшей стоимости на ее изготовление. Вследствие высокой оборачиваемости средств на заводах такого типа (4 раза в год – для бутылочного производства, 2 раза в год – для баночного) повышение показателей эксплуатационной стойкости деталей стеклоформ с 0,2-0,4 млн теплосмен до 0,8-1,0 млн (для роторного стеклоавтомата со скоростным режимом 25-30 изд./мин с 1 недели непрерывной работы до 4-5) сокращает затраты на оснастку.

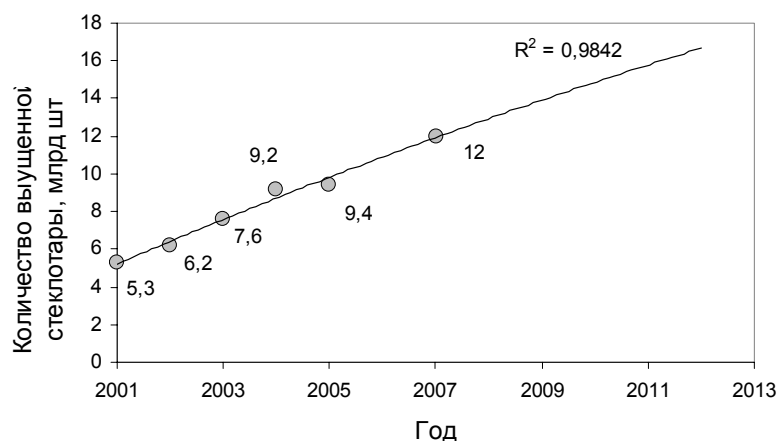


Рис. 2. Динамика изменения объема производства стеклотары до 2013 года [1]

Расчет экономической эффективности

На основании вышеизложенного становится понятным, что от повышения эксплуатационной стойкости формовых комплектов (и необходимости проведения экспериментальных работ в этом направлении) в большей мере выигрывают стеклотарные заводы, являющиеся потребителями металлопродукции и соотносящие ресурс стойкости напрямую на количество полученных ими годных стеклянных изделий. Критичность сложившейся ситуации заключается в больших производственных затратах именно стеклотарных заводов, потребляющих детали стеклоформ отечественного изготовления, способные отстоять в среднем не более 0,55 млн теплосмен на

линии¹ (как правило, этот показатель редко выходит за рамки 0,3-0,4 млн циклов для формовых комплектов отечественного изготовления).

В более выгодных условиях (на данный момент) находятся стеклотарные заводы, потребляющие детали иностранного изготовления от брендовых производителей (ZITZMANN, Инхом-98 и т.д.), способные выдержать (по заверению поставщиков) ресурс в 0,7-1 млн теплосмен. В этой связи остро стоит проблема импортозамещения деталей стеклоформ и на этом основании требуется разработка эффективной технологии изготовления литых деталей с высоким показателем ресурсоспособности при производственных затратах, позволяющих повысить конкурентоспособность отечественных предприятий.

Цель анализа, проводимого авторами, – оценить эффективность реализации в рамках действующего производства разработанной авторами технологии изготовления деталей стеклоформ. Основные преимущества предлагаемой авторами

технологии изготовления деталей стеклоформ, описанные в работах [2, 3], заключаются в повышении:

- теплофизических свойств стеклоформ (за счет интенсификации процессов графито- и ферритообразования на стадии изготовления отливки);
- прочностных показателей деталей (за счет глобуляризации графитовых включений в рабочем слое² литой заготовки);
- жаростойкости формового комплекта (за счет легирования группой элементов (Si, Al, Cr), формирующих на поверхности детали плотные окисные пленки сложными нестехиометрических составов, типа шпинелей FeCr_2O_4 , FeAl_2O_4 и т.п.);

– термостойкости деталей (за счет градиентного расположения графитовых включений в массе чугуна с феррит-перлитной металлической основой: рабочий слой (до 10 мм) – шаровидный графит, промежуточный слой (10-40 мм) – вермикулярный графит, наружный слой (>40 мм) – пластинчатый графит).

Ключевыми моментами в предлагаемой авторами технологии создания готового формового комплекта являются:

¹ По данным ООО «Красное Эхо» (Владимирская обл.); ООО «Завод Символ» (Владимирская обл.); ОАО «Свет» (Республика Удмуртия); ОАО «Березичский стекольный завод» (Калужская обл.); ООО «Каменский стеклотарный завод» (Ростовская обл.); ООО «ЧСЗ-Липецк» (Липецкая обл.) и т.д.

² Слой, контактирующий с расплавленным стеклом (в черновой форме) или «пулькой» (в чистовой форме).

- сокращение производственных расходов на изготовление литой заготовки;
- сокращение продолжительности изготовления детали (за счет оптимизации процесса термической обработки отливок и устранения процедуры упрочнения рабочих кромок);
- повышение эксплуатационного ресурса готовой детали до 0,8-1,0 млн теплосмен.

С целью сравнительной оценки тех или иных проектов (технологий изготовления деталей) рационально применить анализ технологий на основе методов выбора по Парето или методов многокритериальной экспертной оценки. Выбор данных методов для оценки различных технологий изготовления металлоизделий вызван сложностью точного определения затрат по операционной деятельности представленных выше стеклотарных заводов и производственных расходов заводов-поставщиков формовых комплектов. Ввиду этого определить экономическую эффективность в стоимостных показателях не представляется возможным [4].

В качестве альтернативных вариантов рассматривались наиболее перспективные технологии изготовления деталей стеклоформ в Запад-

ной части России и Поволжье:

1) способ изготовления детали из чугуна с пластинчатой формой графита (с процедурой последующего упрочнения рабочих кромок) (способ №1) [5];

2) способ изготовления детали из чугуна с вермикулярным графитом [6] или дифференцированной структурой типа ВЧ→ЧВГ (способ №2) [7, 8].

Оценка технологий изготовления деталей стеклоформ по Парето и Борду определила два варианта предпочитаемых технологий: метод изготовления деталей с дифференцированной структурой и метод получения деталей с градиентной структурой литья. При этом выбрать наиболее оптимальный вариант этим методом не удалось, так как балльная система оценки технологий определила одинаковое количество баллов у обоих вариантов. Однако метод экспертной технической оценки выявил явное преимущество технологии получения деталей стеклоформ с градиентной структурой литья (способ №3) (табл. 1), то есть способы изготовления деталей стеклоформ №1 и 2 являются технически сложно реализуемыми.

Таблица 1

Метод экспертной технической оценки

Критерий оценки	Обозначение критерия	Метод изготовления детали из чугуна с пластинчатым графитом (способ №1)	Метод изготовления детали с дифференцированной структурой литья (способ №2)	Метод изготовления детали с градиентной структурой литья (способ №3)	Идеальный вариант
Инвестиционные затраты	W_1	4	3	3	4
Потребность в обслуживающем персонале	W_2	3	3	4	4
Безопасность процесса	W_3	3	2	2	4
Занимаемая площадь	W_4	3	2	2	4
Дополнительное упрочнение рабочих кромок	W_5	1	3	4	4
Качество шихтовых материалов (сырья)	W_6	3	2	2	4
Время изготовления литой детали	W_7	2	3	4	4
Применение дополнительного оборудования	W_8	4	3	3	4
Стоимость шихтовых материалов (сырья)	W_9	2	1	4	4
Дефектность получаемых деталей	W_{10}	2	3	4	4
Эксплуатационный ресурс получаемых литых деталей	W_{11}	1	3	4	4
Сумма баллов		28	28	36	44
Эффективность сравниваемых вариантов		0,64	0,64	0,82	1

Сущность применяемого метода заключалась в выполнении следующего алгоритма:

- составлялся список возможных критериев оценки;
- качество варианта технологии по каждому критерию оценивалось балльной шкалой (очень хорошее – 4 балла, хорошее – 3, достаточное – 2, приемлемое – 1, неудовлетворительное – 0);
- идеальный вариант технологии имел четырехбалльную оценку по всем возможным показателям;

– для оценки эффективности сравниваемых вариантов технологий сумма баллов вариантов делилась на такую же сумму идеального варианта;

– за окончательный вариант выбиралась технология с возможно более высокой технической эффективностью при допустимой рентабельности (при этом техническая эффективность выше 0,8 рассматривалась как очень хорошая, 0,7-0,8 – хорошая, ниже 0,6 – неудовлетворительная).

Однако недостатком метода экспертных оценок является невозможность учета значимости показателей (например, для способа №3 стоимость шихтовых материалов (балл 4) имеет явно большую значимость, чем скорость изготовления деталей (балл тоже 4)), кроме того, рекомендуемое для данного метода число расчетных показателей – не менее 15, иначе снижается точность расчета, также метод не позволяет учесть информацию о количественных соотношениях между значениями тех или иных критериев для различных вариантов технологий, что может привести к потере значимых данных и неточности решения.

В этой связи неоспоримым преимуществом обладает метод БОФа (метод принятия решения на множестве альтернатив по множеству сравниваемых показателей), ранжирующий все критерии по важности (табл. 2) [9].

Сущность метода БОФа заключалась в следующем:

- отбор оптимального количества критериев ($W_1:W_{11}$);
- ранжирование критериев по степени их значимости (в порядке уменьшения значимости) (п.1, см. табл. 2);
- определение весовых коэффициентов каждого значения критерия и нормирование полученных результатов (п. 2-3, см. табл. 2);
- ранжирование вариантов технологии в соответствии с экспертной оценкой по каждому

критерию (табл. 3);

– определение весовых коэффициентов сравниваемых технологий по каждому критерию и нормирование полученных результатов (см. табл. 3);

– обобщение результатов и принятие решения о выборе технологии по критерию максимального результата.

Таблица 2

Ранжирование и нормирование показателей

№ п.п.	Критерий	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	W_7	W_8	W_9	W_{10}	W_{11}
1	Ранг	8	4	7	11	10	5	6	9	2	3	1
2	Весовые коэффициенты значения критериев	0,36	0,73	0,45	0,09	0,18	0,64	0,55	0,27	0,91	0,82	1,00
3	Нормированные значения весовых коэффициентов	0,06	0,12	0,08	0,02	0,03	0,11	0,09	0,05	0,15	0,14	0,17

Важным преимуществом метода БОФа является то, что он не только позволяет учесть значимость всех критериев, в том числе критериев выраженных в любых формах, но и позволяет учесть информацию о количественных соотношениях тех или иных критериев для различных вариантов технологий.

Таким образом, порядок вычислений следующий:

$$C_j = 1 - \frac{R_j - 1}{M} \rightarrow \tilde{C}_j = \frac{C_j}{\sum_{m=1}^M C_m} \rightarrow C_{ji}$$

$$= 1 - \frac{R_{ji} - 1}{K} \rightarrow \dot{C}_{ji} = \frac{C_{ji}}{\sum_{k=1}^K C_{j,k}} \rightarrow \bar{W}_i = \sum_{j=1}^M \hat{C}_{ji} \rightarrow$$

$$\rightarrow \hat{C}_{ji} = \tilde{C}_j \times \dot{C}_{ji}, \quad (1)$$

где j – номер критерия в перечне; $\bar{M}$ – число критериев; C_j – весовой коэффициент каждого j -го критерия; R_j – ранг критерия; K – число сравниваемых вариантов.

При использовании количественных, а не порядковых значений, критериев использовали следующие формулы:

$$\dot{C}_{ji} = \frac{1/W_{ji}}{\sum_{k=1}^K 1/W_{j,k}} \quad (2)$$

$$и \quad \bar{C}_{ji} = \frac{W_{ji}}{\sum_{k=1}^K W_{ji}}, \quad (3)$$

где W_{ji} – значение критерия с номером j для i -го варианта технологии.

При этом формула (2) применяется, когда большие значения критериев предпочтительнее меньших, а формула (3) – когда меньшие значения критерия предпочтительнее больших. Таким образом, для критерия W_7 (время изготовления литой детали в табл. 3 указано в часах: для технологии №1 – 45, №2 – 40, №3 – 31) вычисления проводятся по формуле (3), а для критерия W_{11} (эксплуатационный ресурс получаемых литых деталей в тыс. теплосъемов для технологии №1 – 300, №2 – 700, №3 – 1000 ч) – по формуле (2).

Таблица 3

Ранжирование вариантов технологий и расчет результатов

Критерий	Ранжирование вариантов технологий			Весовые коэффициенты			Нормированные результаты		
	№1	№2	№3	№1	№2	№3	№1	№2	№3
W_1	1	2,5	2,5	1	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25
W_2	2,5	2,5	1	0,5	0,5	1	0,25	0,25	0,5
W_3	1	2,5	2,5	1	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25
W_4	1	2,5	2,5	1	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25
W_5	3	2	1	0,33	0,67	1	0,17	0,33	0,5
W_6	1	2,5	2,5	1	0,50	0,5	0,5	0,25	0,25
W_7	45	40	31	0,28	0,31	0,41	0,17	0,33	0,5
W_8	1	2,5	2,5	1	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25
W_9	2	3	1	0,67	0,33	1	0,33	0,17	0,5
W_{10}	3	2	1	0,33	0,67	1	0,17	0,33	0,5
W_{11}	300	700	1000	0,15	0,35	0,50	0,15	0,35	0,50

Результаты исследований

В результате расчета показателей методом БОФа были получены данные (результаты построчного суммирования): технология №1 – 0,311, технология №2 – 0,274, технология №3 – 0,416 (рис. 3). Наибольший результат при расчете достигнут для способа №3, что предполагает, что технология получения деталей стеклоформ с градиентной структурой литья является наиболее экономически эффективной.

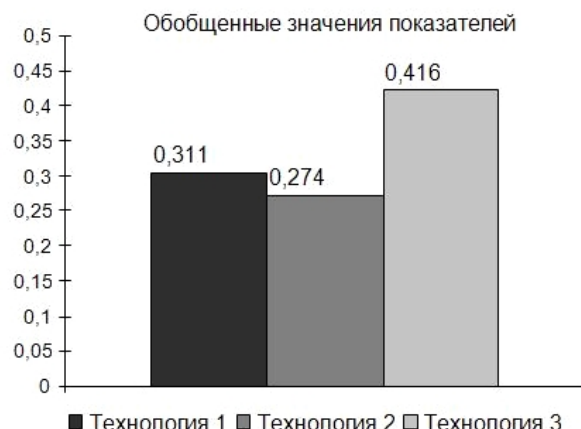


Рис. 3. Результаты расчета

Таким образом, метод БОФа дает более точные результаты при проведении оценки различных вариантов технических решений.

Заключение

В настоящее время рынок стеклотарной промышленности достаточно развит и его экономическая ниша постоянно расширяется. Это связано как с неуклонным приростом доли себестоимости в отпускной заводом стоимости выпускаемой стеклотары, так и с увеличением натурального объемов производства, за счет перехода на экологически безопасные и безвредно утилизируемые упаковочные и транспортировочные потребительские изделия, весомую долю в которых занимает стеклянная тара [10]. Своевременное повышение показателей эксплуатационной стойкости формовых комплектов на стеклоавтомате вследствие применения деталей стеклоформ с градиентной структурой литья позволяет существенно повысить выручку предприятия как за счет снижения затрат на ремонт, переналадку и установку новых комплектов на производственной линии, так и за счет натурального прироста объемов производства.

Список литературы

1. Волков А.А. Маркетинговое управление системой сбыта стеклотарной продукции: автореф. дис. ... канд. экон. наук / А.А. Волков; ГОУ ВПО ВГТУ. Волгоград, 2007. 23 с.
2. Чистяков Д.Г., Леушин И.О. Формирование градиентной структуры в деталях стеклоформ из чугунов с различной степенью глобуляризации графита // Труды 10-й Международной научно-технической конференции «Современные металлические материалы и технологии» (СММТ-13), 2013. С. 253-254.
3. Леушин И.О., Чистяков Д.Г. Некоторые направления модернизации технологии изготовления отливок чугунных стеклоформ для массового производства стеклянной тары // Труды одиннадцатого Съезда литейщиков России (16-20 сентября 2013 года, г. Екатеринбург). Нижний Тагил: Изд-во УВЗ, 2013. С. 46-51.

4. Инновационные инженерные решения и их экономические оценки / О.В. Федоров, Б.В. Алгулин, Д.Н. Башкатов и др. М.: ИНФРА-М, 2005. 234 с.
5. Попов, В.М., Коган Б.Л. Термостойкость чугунов с различной формой графита // Литейное производство. 1991. №2. С. 15-17.
6. Александров М.В. Изготовление деталей стеклоформ из чугуна с вермикулярным графитом // Литейщик России. 2012. №7. С. 22-25.
7. Pan E.N., Ogi K., Loper Jr. C.R. Analysis of the Solidification Process of Compacted/Vermicular Graphite Cast Iron. // AFS. 1982. Vol. 90. P. 509-527.
8. Holmgren D., Kallbom R., Svensson I.L. Influences of the graphite growths direction on the thermal conductivity of cast iron. The Minerals, metals & Materials society and ASM International. 2007. Vol. 38A. P. 268-271.
9. Управление инвестиционной деятельностью в регионах Российской Федерации / О.Ф. Быстров, В.Я. Поздняков, В.М. Прудников, В.В. Перцев, С.В. Казаков. М.: ИНФРА-М, 2008. 358 с.
10. Doremus R.H. Glass Science, 2nd Edition. John Wiley & Sons, New York, 1994, 339 p.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

EXPEDIENCY ASSESSMENT OF IMPROVEMENT OF THE TECHNOLOGY OF MANUFACTURING THE CAST-IRON GLASS MOLD DETAILS BY MULTICRITERIAL EXPERT EVALUATION METHODS

Leoushin Igor Olegovich – D.Sc. (Eng), Professor, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.Y. Alexeev, Russia. Phone: +7 (831) 436-43-95. E-mail: igoleu@mail.ru.

Nischenkov Alexander Vladimirovich – Ph.D. (Eng), Associate Professor, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.Y. Alexeev, Russia. Phone: +7 (831) 436-24-96. E-mail: goz@nntu.nnov.ru.

Chistyakov Dmitry Gennadievich – Postgraduate Student, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.Y. Alexeev, Russia. Phone: +7 (952) 460-21-97. E-mail: chistyakov.nstu@bk.ru.

Abstract. This article presents the process of manufacturing and operation of cast-iron glass mold details, used for the mass production of glass containers. We revealed the rising trends of a consumer demand for glass packaging, increase in the service life of parts and glass molds, need for research in this area. We also outlined the need to improve existing technologies of details' production, as well as to compare the existing technologies of manufacturing the glass mold details and method of manufacture of glass molds with a gradient structure of casting. As for criteria for the evaluation of these technologies, we applied selection methods of Pareto, Bord and BOF method.

Keywords: detail, glass mold, cast-iron, economic effect, estimation.

References

1. Volkov A.A. *Marketingovoe upravlenie sistemoi sbyta steklotarnoi produktsii* [Marketing management the sales system of glass container products]. Extended abstract of PhD. diss. Volgograd, 2007. 23 p.
2. Chistyakov D.G., Leushin I.O. The gradient structure formation in glass molds details of cast irons with various degrees of graphite globularization. *Trudy 10-i Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "Sovremennye metallicheskie materialy i tehnologii" (SMMT'13)* [Proceedings of the 10th International Scientific Conference "Modern metallic materials and technologies" (SMMT'13)]. 2013, pp. 253-254.
3. Leushin I.O., Chistyakov D.G. Some directions for modernization the manufacturing technology of castings iron glass molds for mass production of glass containers. *Trudy odinnadtsatogo S'ezda liteishikov Rossii (16-20 sentyabrya 2013 goda, g. Ekaterinburg)* [Proceedings of the Eleventh Congress of the Russian Foundrymen (16-20 September 2013, Ekaterinburg)]. Nizhnii Tagil: IZD-VO UVZ, 2013, pp. 46-51.
4. Fedorov O.V., Algulin B.V., Bashkatov D.N. and other. *Innovatsionnye inzhenernye resheniya i ih ekonomicheskie otsenki* [Innovative engineering solutions and their economic estimates]. Moscow: INFRA-M, 2005, 234 p.
5. Popov V.M., Kogan B.L. Heat resistance of cast irons with different forms of graphite. *Liteinoe proizvodstvo* [Foundry]. 1991, no. 2, pp. 15-17.
6. Aleksandrov, M.V. Manufacturing of glass molds details made of cast iron with vermicular graphite. *Liteishik Rossii* [Caster of Russia]. 2012, no. 7, pp. 22-25.
7. Pan, E.N., Ogi K., Loper Jr C.R. Analysis of the Solidification Process of Compacted/Vermicular Graphite Cast Iron. AFS, 1982, vol. 90, pp. 509-527.
8. Holmgren D., Kallbom R., Svensson I.L. Influences of the graphite growths direction on the thermal conductivity of cast iron. The Minerals, metals & Materials society and ASM International. 2007, vol. 38A, pp. 268-271.
9. Bystrov O.F., Pozdnyakov V.Ya., Prudnikov V.M., Percev V.V., Kazakov S.V. *Upravlenie investitsionnoi deyatel'nost'yu v regionakh Rossiiskoi Federatsii* [Management of investment activity in the regions of the Russian Federation]. Moscow: INFRA-M, 2008. 358 p.
10. Doremus R.H. Glass Science, 2nd Edition. John Wiley & Sons, New York, 1994, 339 p.

ТРАНСПОРТ И ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 622.271:625.7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНЫХ БУЛЬДОЗЕРОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Арефьев С.А.

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

Аннотация. В статье приведен анализ преимуществ колесных бульдозеров, обеспечивающих при их применении повышение эффективности работ по строительству и содержанию автодорог на карьерах.

Предлагается использовать для определения мощности двигателя и эксплуатационной массы новых моделей колесных бульдозеров регрессионные зависимости, связывающие указанные параметры с шириной их рабочего оборудования – отвала.

Выполнен анализ основных параметров колесных бульдозеров, выпускаемых ведущими фирмами-производителями («Катерпиллер», «Комацу» и т.п.). В результате обработки исходной информации получены регрессионные зависимости, определяющие связь между шириной отвала колесных бульдозеров, мощностью их двигателей и эксплуатационной массой.

Полученные зависимости могут использоваться при прогнозировании мощности двигателя и эксплуатационной массы перспективных моделей колесных бульдозеров. Они также пригодны для быстрого выбора модели колесного бульдозера, которую целесообразно применять при строительстве и содержании дорог на конкретном карьере.

Ключевые слова: колесный бульдозер; мощность двигателя; эксплуатационная масса, ширина отвала; карьер; автодорога; регрессионные зависимости.

Введение

В последние десятилетия на крупных отечественных и зарубежных карьерах все большее распространение получают мощные колесные бульдозеры.

Важнейшим их преимуществом является в 2-3 раза большая, чем у гусеничных машин скорость передвижения. Благодаря этому они обладают высокой мобильностью, необходимой для обеспечения возможности обслуживания нескольких объектов и производства работ на различных участках карьера. Имея малый радиус поворота, колесные бульдозеры отличаются повышенной маневренностью. К их достоинствам также относятся меньшая металлоемкость и более простая, чем у гусеничных машин конструкция. Применение колес большей размерности и то, что задние и передние колеса следуют по одной колее, повышает проходимость машины. Большие шины низкого давления позволяют колесным бульдозерам без повреждений пересекать рельсовые пути, различные кабели и почти не разрушать дорожное полотно. В их пользу говорит и то, что они имеют много общих узлов

и агрегатов с пневмоколесными погрузчиками (включая шарнирно-сочлененную раму).

По сравнению с автогрейдерами колесные бульдозеры, как правило, имеют большую мощность и более высокую проходимость, что особенно важно при строительстве и содержании карьерных автодорог.

Высокая маневренность и мобильность делают предпочтительным использование колесного бульдозера на работах, выполняемых на складах готовой продукции горных предприятий.

Они также находят широкое применение при выравнивании поверхности рабочих площадок и очистке их от кусков породы в забоях экскаваторов. При этом, как отмечалось выше, колесный бульдозер способен, относительно быстро перемещаясь от одного места работы к другому, обслуживать несколько горизонтов, что проблематично для имеющей меньшую скорость гусеничной машины, ходовая система которой менее приспособлена для передвижения на большие расстояния.

Колесные бульдозеры могут с высокой эффективностью перемещать грунт на значительно большее расстояние, чем гусеничные.

Широко используют колесные бульдозеры для строительства, содержания и ремонта карьерных автодорог. На многих предприятиях они постоянно патрулируют дороги для очистки их от просыпей, возникающих при движении груженых карьерных автосамосвалов. Так как колесный бульдозер может перемещаться по карьерным дорогам с той же скоростью, что и технологический транспорт, он в отличие от гусеничных машин не мешает движению автосамосвалов и не способствует снижению их производительности. Колесный бульдозер может также подготовить съезд, спланировать трассу, что не под силу автогрейдеру.

Высокая эффективность применения колесного бульдозера на дорожных работах приобретает особое значение в связи с тем, что автомобильный транспорт сегодня используется для перевозки 75% всей горной массы на карьерах и разрезах России и стран СНГ.

В то же время отечественные производители уделяют недостаточно внимания созданию новых моделей колесных бульдозеров. В связи с этим горнодобывающие предприятия при приобретении их часто вынуждены довольствоваться машинами, изготовленными на базе серийных колесных тракторов, которые первоначально создавались для других целей. Эффективность и надежность работы таких колесных бульдозеров, как правило, ниже, чем у машин, которые создавались специально для работы в тяжелых условиях горных предприятий.

Необходима разработка новых моделей отечественных колесных бульдозеров и обоснование с этой целью их основных рабочих параметров.

Теория и технологические разработки

Проблема создания новых моделей колесных бульдозеров усугубляется тем, что внедрение в последние годы на горных предприятиях новых автосамосвалов грузоподъемностью 220-320 т, имеющих большие ширину и массу по сравнению с ранее применявшимися машинами, требует изменения параметров и технологии строительства карьерных автодорог.

Ширина карьерных дорог и транспортных берм при использовании тяжелых автосамосвалов должны быть увеличены в 2-3 раза [1-7], а возросшая полная масса самосвалов приводит к существенному росту требований к качеству дорожного покрытия и работ, связанных со строительством и содержанием дорог.

Условия эффективного применения колесных бульдозеров в дорожном строительстве требуют соответствия их технических характеристик ос-

новным параметрам карьерных автодорог [8, 9].

Анализ показывает, что ширина автодорог в крупных карьерах сегодня существенно превышает размеры рабочего оборудования колесных бульдозеров, используемых при их строительстве и содержании [10, 11]. Это приводит к тому, что возникает необходимость в большем количестве параллельных проходов колесного бульдозера вдоль строящегося или обслуживаемого участка.

С целью обслуживания автодорог, предназначенных для движения новых тяжелых карьерных автосамосвалов, необходимо создание и внедрение более крупных моделей колесных бульдозеров с большей шириной отвала. В то же время увеличение ширины рабочего оборудования колесных бульдозеров ведет к существенному росту мощности их двигателей и эксплуатационной массы.

Обеспечить оперативное определение и прогнозирование мощности двигателя и эксплуатационной массы новых моделей колесных бульдозеров позволяет использование регрессионных зависимостей, связывающих указанные параметры с шириной рабочего оборудования – отвала.

Выявить количественные зависимости между основными рабочими параметрами колесных бульдозеров позволяет анализ технических характеристик машин выпускаемых ведущими фирмами-производителями («Катерпиллер», «Комацу», БелАЗ и т.п.).

На карьерных автодорогах, как правило, используются колесные бульдозеры с мощностью двигателя от 150 до 380 кВт, а при необходимости перемещения значительных объемов горной массы применяются более крупные машины мощностью 400-637 кВт.

В связи с этим в ходе исследований рассматривались колесные бульдозеры с мощностью двигателя более 150 кВт и шириной отвала более 3,6 м.

В результате обработки исходной информации были получены регрессионные зависимости, определяющие связь между шириной отвала колесного бульдозера (B , мм), мощностью его двигателя (M , кВт) и эксплуатационной массой (Q , т).

Для определения мощности двигателя (кВт) колесного бульдозера предлагается зависимость

$$M = 7,31B^{2,4}, \quad (1)$$

Сравнение фактических и расчетных значений мощности двигателя для различных моделей колесных бульдозеров (см. **таблицу**) демонстрирует высокую точность расчетов по приведенной зависимости.

Фактические и расчетные значения мощности двигателя колесных бульдозеров

Модель	Ширина отвала, м	Мощность двигателя, кВт		Отклонение расчетной мощности двигателя от фактической	
		фактическая	расчетная	кВт	%
Катерпиллер					
824Н	4,51	264	271,6	7,60	2,88
834Н	5,07	372	359,6	-12,3	-3,30
854К	6,32	597	610,4	13,4	2,25
Комацу					
WD420-3	3,75	167	174,4	7,41	4,44
WD600-3	5,10	362	364,8	2,82	0,78
WD900-3	6,47	637	645,7	8,78	1,37

График зависимости мощности двигателя от ширины отвала колесного бульдозера приведен на **рис. 1**.

Для определения эксплуатационной массы (т) колесного бульдозера предлагается зависимость

$$Q = 0,41B^{2,94}. \quad (2)$$

График зависимости эксплуатационной массы от ширины отвала колесного бульдозера приведен на **рис. 2**.

Величина коэффициента корреляции r для полученных зависимостей достаточно высокая – от 0,959 до 0,981.

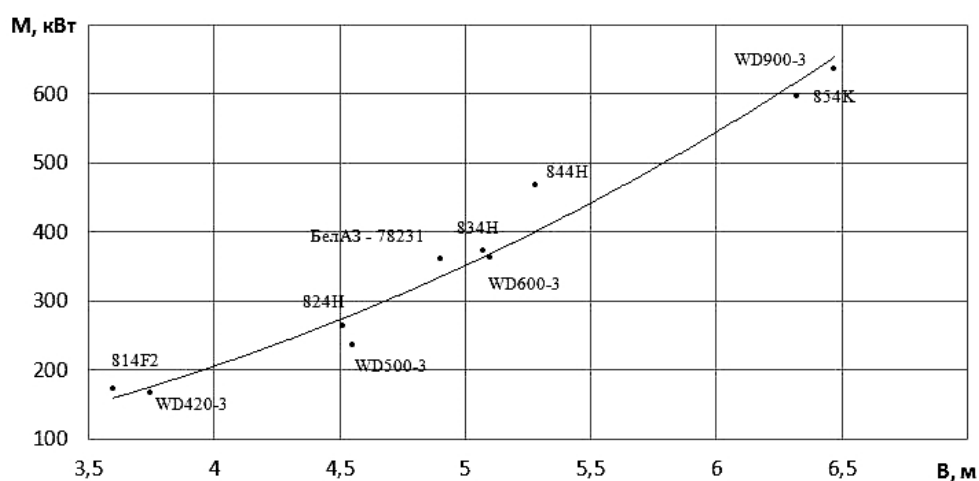


Рис. 1. Зависимость мощности двигателя (M) от ширины отвала колесного бульдозера (B)

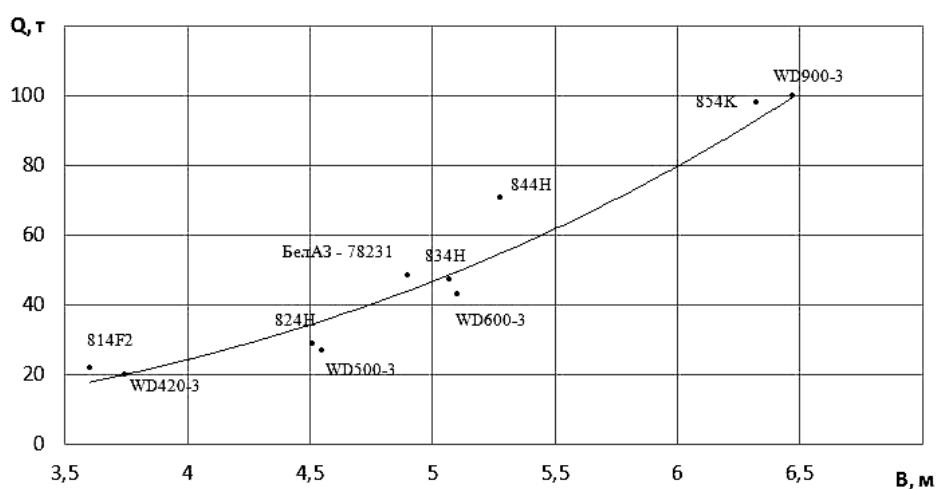


Рис. 2. Зависимость эксплуатационной массы (Q) от ширины отвала колесного бульдозера (B)

Закключение

Анализ технических характеристик колесных бульдозеров, выпускаемых ведущими мировыми фирмами-производителями, позволил выявить количественные зависимости между основными рабочими параметрами колесных бульдозеров.

Полученные зависимости могут использоваться при прогнозировании мощности двигателя и эксплуатационной массы перспективных моделей колесных бульдозеров, предназначенных для работы в комплексе с новыми карьерными автосамосвалами большой грузоподъемности.

Данные зависимости также пригодны для быстрого выбора модели колесного бульдозера, которую целесообразно применять при строительстве и содержании дорог в условиях конкретного карьера.

Список литературы

- Стенин Ю.В. Исследование геометрических параметров карьерных автодорог и их влияния на режим движения технологических автосамосвалов // Изв. вузов. Горный журнал. 2000. №1. С. 45-49.
- Сидяков В.А., Колчанов А.Г., Стенин Ю.В. Карьерные автомобильные дороги. М.: ООО «Издательский дом Недра», 2011. 144 с.: ил.
- Инструкция по строительству и содержанию внутрикарьерных автодорог для автосамосвалов грузоподъемностью 110-180 тонн. Харьков, 1985. 93 с.
- Смирнов В.П., Лель Ю.И. Теория карьерного большегрузного автотранспорта. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 355 с.
- Стенин Ю.В., Лель Ю.И., Колчанов А.Г. Карьерные автодороги – значение и проблемы совершенствования // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: МГТУ, 2009. №11. С. 393-400.
- Проблемы совершенствования параметров и транспортно-эксплуатационных качеств карьерных автодорог/ Лель Ю.И., Стенин Ю.В., Колчанов А.Г., Арефьев С.А. // Нерудная промышленность. СПб.: Изд-во «Красная линия». 2012. №2(9). С. 18-25.
- Стенин Ю. В., Ильбульдин Д. Х. Рациональные параметры автотранспортных берм карьеров // Горный журнал. 2010. №4. С. 80-84.
- Арефьев С.А., Стенин Ю.В. Возможные направления по совершенствованию дорожно-строительной техники для карьеров // Материалы Международной научно-практической конференции «Уральская горная школа – регионам» г. Екатеринбург, 23-24 апреля 2012 г.: сборник докладов / Уральский государственный горный университет. Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 2012. С. 258-260.
- Томпсон Р.Д., Виссер А.Т. Основы комплексного проектирования карьерных дорог открытых горных разработок // Открытые горные разработки. Осушение и окружающая среда. 1997. №11. С. 121-128.
- Карьерная техника ПО «БЕЛАЗ»: справочник / под ред. Маринова П.Л., Анистратова К.Ю. М.: ООО «КА технокомплект», 2005. 448 с.: ил.
- Справочник по эксплуатационным характеристикам Caterpillar 42 публикация компании Caterpillar Inc., Пеория, шт. Иллинойс, США. 2012. №42. 1598 с.: ил.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

DETERMINATION OF THE BASIC PARAMETERS OF WHEEL DOZERS USED IN MINING ENTERPRISES

Arefiev Stepan Aleksandrovich – Teacher of the Open Pit Mining Department, Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia. Phone: 257-22-44. E-mail: arefevs@yandex.ru.

Abstract. The article gives an analysis of the advantages of wheel dozers, the application of which enhances the efficiency of construction and maintenance of roads in the quarries.

To determine the engine power and operating weight of new models of wheel dozers, it was proposed to use regression dependencies connecting these parameters with the width of their work equipment – the blade.

We analyzed basic parameters of wheel dozers, produced by leading manufacturers (Caterpillar, Komatsu, etc.). By processing of initial information the regression dependencies were obtained, defining relations between the width of wheel dozers blade, power of their engines and operating weight.

The obtained dependencies can be used at forecasting of engine power and operating weight of advanced models of wheel dozers. They are also suitable for quick selection of a wheel dozer model, which is expedient for use in the construction and maintenance of roads in a particular quarry.

Keywords: wheel dozer, engine power, operating weight, the width of the blade, quarry, road, regression dependencies.

References

- Stenin Y.V. Research of geometry parameters of quarry roads and their influence on technological dump trucks mode of movement. *Izv. vuzov. [Mining Journal]*. 2000, №1. pp. 45-49.
- Sidjakov V.A., Kolchanov A.G., Stenin Y.V. Quarry motorroads. Moscow: Publ. Nedra, 2011, 144 p.
- Instructions for construction and maintenance of in-quarry roads for dump trucks with load capacity 110-180 tons. Kharkiv, 1985. 93 p.
- Smirnov V.P., Lel Y.I. *Teoriya kar'ernogo bol'shegruznogo avto-transporta* [Theory of quarry heavy vehicles]. Ekaterinburg. Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2002. 355 p.
- Stenin Y.V., Lel Y.I., Kolchanov A.G. Quarry motorroads – their importance and problems of improvement. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'* [Mountain information – analytical bulletin]. Moscow: Publ. Moscow State Mining University, 2009, no. 11, pp. 393-400.

6. Lel Y.I., Stenin Y.V., Kolchanov A.G., Arefjev S.A. Problems of improving the parameters and transport performance qualities of quarry motorroads. *Nerudnaya promyshlennost'* [Nonmetallic industry]. Saint-Petersburg: Publ. house «Red line». 2012, no. 2(9), pp. 18-25.
7. Stenin Y.V., Ilbuldin D.H. Rational parameters of motortransport berms in quarries. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal]. 2010, no. 4, pp. 80-84.
8. Arefjev S.A., Stenin Y.V. Possible directions of improving road-building machinery for quarries. *Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii «Ural'skaya gornaya shkola – regionam»* [International Scientific and Practical Conference «The Ural Mining School – To Regions»], Ekaterinburg, 23-24 April 2012: Proceedings. Ural State Mining University. Ekaterinburg: Publ. USMU, 2012, pp. 258-260.
9. Thompson R.D., Visser A.T. Fundamentals of integrated design of pit roads in open cast mining. *Otkrytye gornye razrabotki. Osvshenie i okruzhayushchaya sreda* [Open mining. Drainage and environment]. 1997, no. 11, pp. 121-128.
10. Quarry equipment «BelAZ»: Ed. Mariev P.L., Anistratova K.Y. Moscow: KA Tekhnokomplekt, 2005, 448 p.
11. Handbook of Caterpillar 42 operational characteristics. Publication of Caterpillar Inc., Peoria, Illinois, USA. 2012, no. 42, 1598 p.



ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И РЫНОК ПРОДУКЦИИ

УДК 334.012.64:338.46

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗВИТИЯ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ СУБЪЕКТОВ МАЛОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА НА РЫНКЕ СФЕРЫ УСЛУГ

Усманова К.Ф., Горохова О.В.

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

Аннотация: В статье рассматривается механизм развития конкурентоспособности малых предприятий сферы услуг в России. Проведено предварительное исследование корреляционной зависимости оборота малых предприятий сферы услуг от различных экономических показателей. Таким образом, в ходе исследования были выявлены факторы, определяющие особенности и характер развития конкурентоспособности малых предприятий сферы услуг. Итоговым результатом проведенного исследования стала разработка системы показателей, влияющих на конкурентоспособность малых предприятий. Также в статье предложены мероприятия по региональному развитию и повышению конкурентоспособности малых предприятий сферы услуг.

Ключевые слова: малые предприятия, конкурентоспособность, корреляционная зависимость, оборот малых предприятий сферы услуг.

Введение

В настоящее время российский рынок услуг является одним из самых перспективных направлений бизнеса. Современной России присуще немало общемировых тенденций развития сферы услуг. При этом историческая эволюция российской сферы услуг отличается своеобразием. Динамика и структура сферы услуг в России в значительной мере определяются суровыми климатическими условиями жизни, обширной, но малонаселенной территорией, значительным многообразием национальных, социальных, региональных и культурно-религиозных миров, свойственных населению страны. И в связи с тем, что традиционные источники конкурентных преимуществ постепенно уходят в прошлое, в условиях насыщенного, высокотехнологичного и активного рынка далеко не всегда удастся получить конкурентные преимущества перед экономическими соперниками, рассчитывая только на «классические» источники, такие как доступ к дешевым ресурсам, удобное географическое положение, снижение себестоимости продукции и др. Когда подобные источники конкурентных преимуществ исчерпаны, единственной возможностью выиграть в конкурентной борьбе становится создание и выпуск на рынок продукта, об-

ладающего новыми качествами, отсутствующими у аналогов. При этом к фактору успеха относится инновационный инструментарий современной экономики, открывающий более широкий спектр потенциальных возможностей гибкости для долгосрочного поддержания инновационной активности предприятия, его конкурентоспособности [2].

Основная часть

В целях исследования взаимосвязей между экономическими показателями, влияющими на оборот малых предприятий, на основании данных статистики был проведен корреляционно-регрессионный анализ. На основании которого можно сделать вывод о существовании тесной прямой зависимости оборота малых предприятий сферы услуг от затрат на технологические инновации. Также оборот малых предприятий сферы услуг может иметь тесную прямую зависимость от численности малых предприятий и среднесписочной численности работников малых предприятий. По результатам проведенного анализа возникает необходимость в разработке системы количественных и качественных показателей, влияющих на особенности и характер развития конкурентоспособности малых предприятий сферы услуг.

На **рис. 1** в схематическом виде представлена система факторов, определяющих особенности и характер развития, конкурентоспособности субъектов малого предпринимательства на рынке сферы услуг.

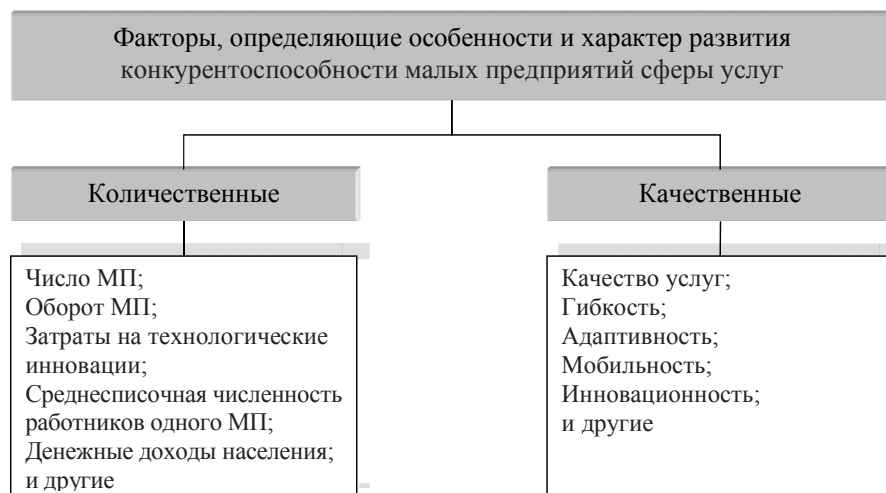


Рис. 1. Факторы, определяющие особенности и характер развития, конкурентоспособности малых предприятий сферы услуг

Так, в качестве количественных факторов, определяющих характер развития конкурентоспособности малых предприятий сферы услуг, можно выделить такие, как число МП, среднесписочная численность работников одного МП, оборот МП и др.

При этом следует отметить существенную корреляционную зависимость оборота МП сферы услуг от таких факторов, как затраты на технологические инновации и денежные доходы населения.

В свою очередь, к основным качественным факторам, определяющим особенности развития конкурентоспособности малых предприятий сферы услуг, можно отнести гибкость, адаптивность, мобильность и инновационность.

Как указывалось ранее, существенной особенностью развития сферы услуг в России является неравномерное развитие регионов и существенное влияние региональной специфики. По-прежнему сохраняется высокая дифференциация по уровню разви-

тия малых предприятий между субъектами Российской Федерации, а потенциал малых предприятий в развитии экономики регионов задействован крайне неравномерно [3].

В результате возникает необходимость в разработке системы количественных и качественных показателей, которые влияют на особенности и характер регионального развития конкурентоспособности малых предприятий сферы услуг.

На **рис. 2** в схематическом виде представлена система факторов, определяющих особенности и характер регионального развития, конкурентоспособности субъектов малого предпринимательства на рынке сферы услуг.

В качестве основных количественных факторов, определяющих характер

регионального развития конкурентоспособности субъектов малого предпринимательства сферы услуг, можно выделить число МП в регионе, среднюю производительность труда одного работника, среднесписочную численность работников МП и др.

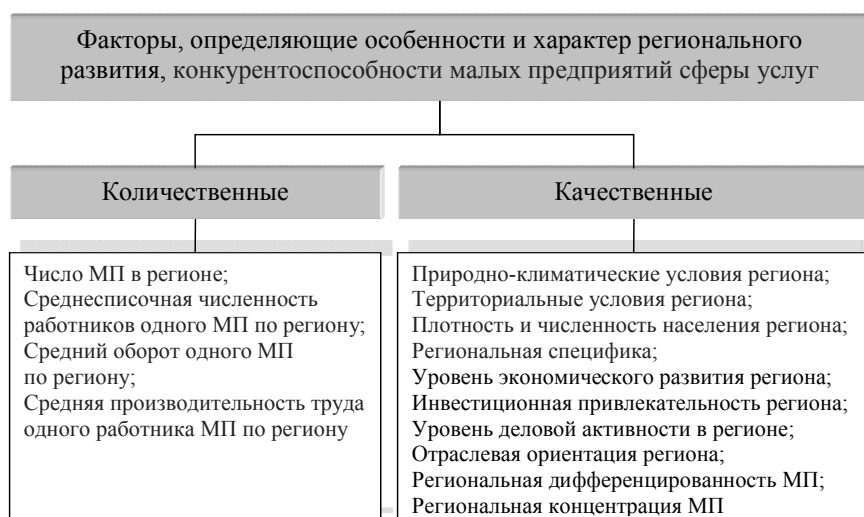


Рис. 2. Факторы, определяющие особенности и характер регионального развития, конкурентоспособности малых предприятий сферы услуг

В свою очередь, к основным качественным факторам, определяющим особенности регионального развития конкурентоспособности малых предприятий сферы услуг, можно отнести

природно-климатические условия региона, уровень экономического развития, инвестиционную привлекательность, деловую активность в регионах.

Кроме того, немаловажным фактором регионального развития и конкурентоспособности субъектов малого предпринимательства является отраслевая ориентация региона.

Таким образом, в Российской Федерации проблемы региональной экономики обладают ярко выраженной спецификой и определяются типом каждого отдельно взятого региона, его экономико-географическими параметрами, основными ресурсами, производственной базой, инфраструктурой, местом региона в национальной экономической системе и прочими значимыми факторами. Этим определяются и различия в уровнях развития отраслей сферы услуг, на которые существенный отпечаток накладывает именно региональная составляющая [1].

Как показывает проведенный анализ, сфера услуг является одним из приоритетных направлений развития субъектов малого предпринимательства в России. В результате целесообразна разработка целевых программ или включение соответствующих мероприятий в региональные программы поддержки малого предпринимательства в сфере услуг.

Предлагаемые основные мероприятия по региональному развитию и повышению конкурентоспособности малых предприятий сферы услуг схематически представлены на рис. 3.



Рис. 3. Мероприятия по региональному развитию и повышению конкурентоспособности малых предприятий сферы услуг

В результате, в целях повышения оборота субъектов малого предпринимательства сферы услуг необходимо осуществление мероприятий по стимулированию создания новых малых предприятий, а также увеличения численности работников в данной сфере. Кроме того, косвенное влияние на оборот малых предприятий сферы услуг, очевидно, оказывают затраты на технологические инновации в соответствующем регионе.

В свою очередь, государственная поддержка в создании новых малых предприятий сферы платных услуг позволит не только повысить занятость, но и напрямую окажет влияние на величину оборота малых предприятий сферы услуг.

Достаточно важным для страны является гармоничность правовых и хозяйственных условий, прозрачность экономических отношений и их стабильность. Соответственно необходимо больше уделять внимания государственному регулированию, ведь все остальное является производным именно от него. Таким образом, необходимо:

- усовершенствовать нормативно-правовое обеспечение поддержки малого предпринимательства;
- упростить регулирующие процедуры в отношении малого предпринимательства;
- усовершенствовать систему налогообложения малого предпринимательства, в частности упростить критерий для перехода на упрощенную систему;
- необходимо разработать систему льготирования налогообложения банков, осуществляющих кредитование малого предпринимательства;
- внедрить новые финансовые технологии, направленные на развитие малого предпринимательства.

Вывод. Как показало исследование, несмотря на принятие и реализацию существующих целевых программ, направленных на сглаживание различий в уровне развития регионов, по-прежнему можно наблюдать прогрессивные и депрессивные территории, управление развитием которых должно учитывать их специфику. В результате, создавая соответствующие условия, обеспечивающие поддержку малого бизнеса, государство повысит эффективность

российской экономики в целом.

Список литературы

1. Проскура Д.В., Проскура Н.В., Мурашова Н.А. Региональный маркетинг в инновационной среде / НГТУ. Н. Новгород, 2011. 124 с.

2. Селяев Е.В. Формирование стратегии обеспечения конкурентоспособности на предприятиях сферы услуг // Вестник ЮрГТУ (НПИ). 2011. №4. С. 241-247.
3. Горохова О.В. Региональный подход к определению термина «конкурентоспособность» // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №1. С. 99-100.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

CREATING THE SYSTEM OF DEVELOPMENT AND COMPETITIVENESS INDICATORS FOR SMALL BUSINESS ENTITIES IN THE SERVICES MARKET

Usmanova Klara Fuadovna – D.Sc. (Eng.), Professor, Head of Department of Economics and Marketing, Institute of Economics and Management, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7 (3519)23-03-71.

Gorokhova Olga Valeryevna – Teaching Assistant, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7 (3519)23-04-28.

Abstract. The article discusses the competitiveness development mechanism of small services businesses in Russia. A preliminary study of correlation dependence between the turnover of small services enterprises and various economic indicators was performed. Thus, during the study we have identified factors that determine features and character the competitiveness development of small services businesses. The final result of the study was creation of a system of indicators that effect the competitiveness of small businesses. The article also gives measures for regional development and competitiveness of small services businesses.

Keywords: small businesses, competitiveness, corre-

lation, the turnover of small services businesses.

References

1. Proskura D.V., Proskura N.V., Murashova N.A. *Regional'nyi marketing v innovatsionnoy srede* [Regional marketing in an innovation environment]. NSTU. Nizhny Novgorod, 2011. 124 p.
2. Selaev E.V. Formation the strategy for ensuring competitiveness in enterprises of services sphere. *Vestnik SRSTU (NPI)*. 2011, no. 4, pp. 241-247.
3. Gorokhova O.V. A regional approach to the defining the term «competitiveness». *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2013, no. 1, pp. 99-100.

УДК 330.3

СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА И СОЦИАЛЬНОГО КАПИТАЛА

Одер Д.Е.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия

Аннотация. В статье рассматривается степень развития инновационной инфраструктуры человеческого потенциала и социального капитала в Российской Федерации в разрезе различных сфер жизнедеятельности. Проанализированы показатели интеллектуального капитала и экономической безопасности (уровень грамотности, количество исследовательских организаций).

Целью написания данной статьи является определение вектора развития экономической политики Российской Федерации, для чего был проведен анализ фактических экономических показателей, на основе которого возможно стало выявить динамику развития таких показателей, как экономический и социальные капиталы.

Представлены результаты анализа показателей социального капитала как фактора, влияющего на благосостояние человека и государства в целом. По итогам представленного анализа доказана негативная динамика развития показателей человеческого капитала (здравоохранение, образование). Результаты статистического анализа возможно использовать при определении структуры бюджетной политики.

Ключевые слова: инновационная инфраструктура, социальный капитал, человеческий потенциал, инновации.

Введение

Человеческий потенциал в инновационном развитии экономики играет главенствующую роль. В отличие от индустриальных обществ, в которых, как показал Маркс, «простейший труд стал основой промышленности», в постиндустриальных странах наиболее эффективным средством экономического развития становится развитие самого человека.

Практически во всех сферах социально-экономической, институционально-инновационной активности определяющая роль принадлежит высококвалифицированным работникам с творческим потенциалом. Сегодня в условиях глобального интенсивного технологического развития образование не только даёт возможность воспользоваться уже накопленными знаниями, но и содействует получению новых знаний в процессе труда, а также обеспечивает условия для их производства в будущем. В связи с чем для осуществления концепции инновационных преобразований необходимы научно-технический и кадровый потенциалы. Одним из факторов развития является образование, и будущие научные резервы должны формироваться ещё в школе.

Статистический анализ итогов 2013 – первого квартала 2014 гг. в разрезе сфер жизнедеятельности РФ

По итогам первого квартала 2014 года можно сделать неутешительные выводы: экономика России вошла в состояние стагнации. На это влияют как долгосрочные факторы – на протяжении последних 30 лет в развитие экономики не было достаточных инвестиций; господдержка шла на развитие не промышленного, а военного комплекса, так и среднесрочные факторы. Налоговая политика до сих пор такова, что не позволяет развиваться малому и среднему бизнесу в сфере производства потребительских товаров: высокие пошлины на ввоз сырьевых товаров, необходимых для создания конечного продукта на территории РФ.

По данным Росстата по итогам 2013 года темпы роста экономики снизились до 1,3% (в 2012 рост составил 3,4%, в 2011 – 4,3%) [1]. В свою очередь, ВВП в первом квартале 2014 года по оценке Министерства экономического развития сократился на 0,5%. По словам министра экономического развития Алексея Улюкаева состоянии стагнации усугубляются внешними факторами – острая международная обстановка [2].

Напряженная внешняя ситуация способствовала оттоку инвестиций из России в марте

2014 года до 4,3%. Так, за первый квартал 2014 года отток иностранного капитала составил выше 50 млрд долл. США. Показатель ВВП мог бы спасти рост потребления частного сектора, но по итогам первого квартала 2014 года он также сокращается, при этом прогноз Министерства экономического развития до конца года неутешителен: рост зарплат будет сокращаться, так как он поддерживается только в государственном секторе (в частном секторе размер зарплат «заморожен»). При этом из-за девальвации рубля уровень инфляции растёт (в марте 2014 года составила 6,9%). Спад потребления частного сектора проходит на фоне снижения сокращения экспорта в силу ухудшения отношений со странами Запада.

Вышеописанная ситуация проходит на фоне расширения внешнеполитической активности, а значит, и роста расходов на военный сектор. При том, что ни одна из других отраслей жизнедеятельности России (промышленные, сельскохозяйственная) не достигли уровня 2008 года, т.е. докризисного уровня.

Согласно подсчётам Всемирного банка расходы на военный сектор РФ составили в 2012 году 4,5% от ВВП [3]. Данная методика едина для всех стран. И по тем же расчётам данный показатель стран НАТО не превышает 2,5%. Свою очередь, расходы на здравоохранение РФ составили 3,5%, тогда как в среднем страны Запада затрачивают 6% ВВП. При этом закон о бюджете РФ предполагает рост расходов на оборону на 61% за 2014-2016 гг., а на здравоохранение и оборону на 22%.

Такой рост расходов на оборонную может быть обеспечен двумя путями: либо рост налогов, либо снижение расходов на другие отрасли. Выбор может быть сделан в сторону любого пути, но нужно понимать цену выбора.

Анализ показателей человеческого капитала

По данным последней переписи [1], в нашей стране 3,2% безграмотных людей, при этом в 1989 г. их было гораздо меньше – 0,2%. Стоит отметить, что по данным переписи 2002 г. уровень безграмотности среди населения старше 15 лет достигал 1,7%, что свидетельствует о негативной динамике. При анализе возрастной структуры данных видно, что уровень безграмотности растёт в группах экономически активного населения. Так, в 2002 г. количество безграмотных людей среди населения старше 60 лет составляло 35% от общего количества безграмотных людей, уже в 2010 г. данный показатель составил 20%. При этом по данным последней

переписи 36% безграмотных находятся в группе от 15 до 34 лет. Таким образом, будущее поколение, которое должно обеспечивать стабильный рост благосостояния государства, будет интеллектуально не способно на это, и создаётся реальная угроза национальной безопасности России, так как защищать уже будет некому: количество населения до недавнего времени (до 2011 г.) падало, а количество безграмотных в стратегически важных возрастных категориях постоянно растёт (рис. 1).

На поддержку малых, а также средних предприятий инновационного характера существенное влияние оказывает уровень развития инновационной инфраструктуры. Особую нужду в государственной поддержке испытывают малые предприятия, в том числе по причине отсутствия специалистов узкого профиля. Технопарки созданы с целью облегчения развития малых предприятий инновационного характера (налоговые льготы, площадка для работы и т.д.). Распоряжением Правительства РФ от 10 марта 2006 г. №328-р одобрена государственная программа «Создание в Российской Федерации технопарков в сфере высоких технологий» [4].

Рост безграмотных среди населения моложе 60 лет

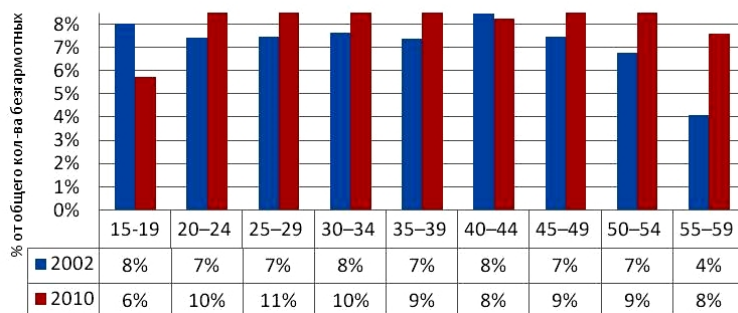


Рис. 1. Процентное соотношение безграмотных людей по возрастным группам

Несмотря на предпринятые меры, количество исследовательских организаций упало с 4100 в 2000 г. до 3682 в 2010 г. (рис. 2). Более того, если рассматривать данную статистику в разрезе секторов деятельности, то видно, что запланированные расходы на фундаментальные исследования растут гораздо более медленными темпами, нежели затраты на прикладные исследования. В то время как фундаментальные науки требуют больше инвестиций.

Число организаций, выполнявших исследования и разработки

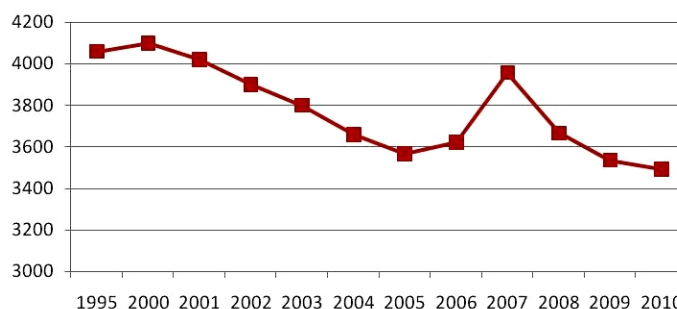


Рис. 2. Снижение числа исследовательских организаций

Общее количество работников, занятых в секторе исследований, сократилось практически на 1/4. В основном снижение количества работников произошло в подразделении высококвалифицированных работников, а значит, фактический рост исследовательских работ не произошёл. И данный тренд явно является негативным для целей стратегической национальной безопасности.

Сравнительный анализ расходов на образование

Основным видом инвестиций в человека являются расходы на образование, включая общее и специальное, формальное и неформальное образование, подготовку по месту работы и т.д. [5]. Так, согласно исследованию Human Capital Trends 2012, проведенному компанией Deloitte [6], 70% богатства США создаётся благодаря человеческому капиталу. Уже во второй половине XX в. на подготовку научно-технического работника в США уходило около 800 тыс. долл. США, что подтверждает рост значения развития образования работника как важной инвестиционной формы общества.

На современном этапе образование, в частности в области стратегического планирования, высоких технологий, становится элементом стратегии экономического роста, а содействие ему и его прогнозирование вошло в практику государственного регулирования всех развитых стран мира. В странах Запада экономическое обоснование образовательной экспансии проходило сразу по нескольким направлениям. Прежде всего, это признание роли специалистов высокой квалификации в процессе экономического развития, как

отдельного предприятия, так и страны в целом. Их недостаток приводит к возникновению в экономике «проблемных звеньев», что негативно отражается на темпах роста. Поэтому во всех развитых странах, начиная с 1960-х гг., возростала роль и значение образования и профессиональной подготовки в системе национальных приоритетов, обосновывался перевод этой сферы на качественно новый уровень материального и кадрового обеспечения. Эта цель была достигнута в результате скачка доли расходов на образование в отношении национальных доходов этих стран.

По сути, более развитые страны меняют орудия производства, заменяя фабрики и цеха на автоматизированные машины. И таким образом, понятие человеческого капитала скорее относится к понятию относительной прибавочной стоимости, только в данном контексте производительность включает в себя уже не усовершенствование станков, а улучшение интеллекта людей, который становится основным средством производства.

Данные финансовых отчетов предприятий и выводы исследований по оптимальному управлению производством доказывают тот факт, что в передовых отраслях промышленности наиболее рентабельными инвестициями являются инвестиции в человеческий капитал.

Корреляция между экономическим ростом и развитием социального капитала

Между тем необходимо признать, что контакты и межличностные связи дают возможность людям поддерживать друг друга в условиях недостаточной государственной социальной поддержки. Таким образом, именно социальный капитал на территории РФ является необходимым фактором адаптации жителей страны на этапе перехода к развитой рыночной экономике.

Зависимость между социальным капиталом и экономическим развитием является более сложной и неоднозначной, чем между демократией и социальным капиталом. Есть мнение [7], что несмотря на то, что на основе межличностных отношений создаются системы взаимного доверия и норма, это мало содействует экономическому развитию. Создание новых институтов с демократическим уклоном, базирующихся на доверии граждан, могут способствовать экономическому росту.

Согласно результатам исследования, проведенного в конце 1990-х гг. [8], вклад социального капитала был сопоставим с доходом домохозяйств.

Данные исследования [9] подтвердили, что при определенных обстоятельствах и в некоторых формах социальный капитал оказывает влияние на увеличение благосостояния, при этом оказалось, что такой капитал невозможно исследовать обособленно, возможно лишь как часть ресурса, который использует человек для повышения благосостояния.

Важной предпосылкой исследования было представление существующих государств в виде двух групп: современные и несовременные. При этом Россия позиционировалась как страна развивающаяся, т.е. на этапе между современной и несовременной. Современное общество отличается существующими сформированными организациями, как рыночными, так и государственными, которые осуществляют экономическую деятельность (производят услуги/ товары, обменивают их на деньги). В случаях предпочтения покупателями неформальных связей, это совсем не означает недоверия к формальным связям, а лишь выбор на основе сопоставления возможных издержек и выгод.

Безусловно, описанные связи (формальные и неформальные) могут пересекаться. Так, к примеру, на работе между сотрудниками могут возникать как негативные (враждебные), так и позитивные (дружеские) связи. Такие связи между сотрудниками, в свою очередь, влияют на качество результатов их работы и соответственно результатов работы компании и распределение ресурсов в целом, также на вознаграждение сотрудников.

Заключение

Для повышения уровня благосостояния жителей РФ при построении долгосрочной программы развития государства особое внимание необходимо уделять аспектам человеческого и социального капиталов. Именно взаимодействие элементов человеческого и социальных капиталов может дать синергетический эффект при выстраивании эффективной стратегии успешного общества.

Существует возможность использовать нынешний кризис во благо будущего. Так, к примеру, в США в инвестиционной антикризисной программе ведущую роль отдают инвестициям в образование [10]. Для устойчивого инновационного развития экономики страны необходимо направлять денежные потоки инвестиций в сферу образования, которая в долгосрочной перспективе даст гораздо больший масштаб отдачи, нежели остальные сферы.

Стоит отметить, что именно от качества человеческого и социального капиталов зависит будущее страны. При этом уровень социального капитала в РФ невероятно низок. Население в силу низкого уровня развития экономики страны и собственного невысокого уровня благосостояния не доверяет властям. Кратковременно уровень доверия повысился за счёт внешнеполитических событий (крымские события), но данный показатель резко снизится в среднесрочной перспективе с наступлением последствий выбора направления внешней политики и, самое главное, с момента ощутимого ухудшения уровня развития человеческого капитала страны. Сейчас как никогда важно для устойчивого развития и инновационного развития экономики страны направлять денежные потоки инвестиций в сферу образования, которая в долгосрочной перспективе даст гораздо больший масштаб отдачи, нежели остальные сферы.

Список литературы

1. Российские статистические сборники. М.: Изд-во ЦСУ, 2012-2013.
2. Кувшина О. Похвала Медведеву // Ведомости. 2014. №70 (3574).
3. Гурвич Е. Экономическая политика: пушки или масло // Ведомости. 2014. №72 (3576).
4. Распоряжение Правительства РФ от 10 марта 2006 г. №328-р.
5. Гришнова О.А. Эффективность инвестиций в человеческий капитал // Региональные перспективы. 2002. №3-4. С. 31-38.
6. Deloitte. Тренды развития человеческого капитала (исследования от 2012 года).
7. Harter S. Stretching the Concept of "Social Capital": Comment on Peter Kirkow, "Russia's Regional Puzzle: Institutional Change and Economic Adaptation", *Communist Economies and Economic Transformation*, Vol. 10, No. 2 (1998), 272.
8. Rose R. How Much Does Social Capital Add to Individual Health? A Survey Study of Russians, *Social Science and Medicine*, 1-15 Pergamon. 2000.
9. Rose R. What Does Social Capital Add to Individual Welfare? An Empirical Analysis of Russia, Centre for the Study of Public Policy, University of Strathclyde, Glasgow, Scotland. 1999.
10. Никитина В. План Обамы: не отнять, а поделить // Аргументы и факты. 2009. №10 (<http://aif.ru/money/article/24991>).

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

STRATEGIC PLANNING OF HUMAN POTENTIAL AND SOCIAL CAPITAL

Oder Dariya Evgenyevna – Postgraduate Student, Moscow State University named after M.V. Lomonosov. Phone: +7 (916) 001-23-97. E-mail: daria.oder@gmail.com.

References

Abstract. This article discusses the degree of development of innovation infrastructure and human and social capital in the Russian Federation in terms of different spheres of life. Indexes of intellectual capital and economic security (level of literacy, the number of research organizations) were analyzed.

The article aims at determining the direction of the Russian Federation economic policy development, therefore, actual economic performance was analyzed and as a result it has become possible to identify the trend in indicators such as economic and social capitals.

The article gives the analysis results of social capital indicators as a factor affecting the welfare of a person and the state as a whole. The results of the analysis presented proved a negative trend in human capital (health, education). Results of statistical analysis may be used in determining the structure of a fiscal policy.

Keywords: innovation infrastructure, social capital, human capital, innovation.

1. The Russian statistical yearbooks 2012-2013. Moscow: Publ. CSO.
2. Kuvshina O. Medvedev's praise. *Vedomosti*. 2014. №70 (3574).
3. Gurvich E. Economic policy: guns or butter. *Vedomosti*. 2014. №72 (3576).
4. RF Government Decree of March 10, 2006 №328-p.
5. Grishnova O.A., Investments efficiency in human capital. *Regional perspectives*, 2002, №3-4, pp. 31-38.
6. Deloitte human capital trends 2012.
7. Harter, Stefanie (1998), Stretching the Concept of "Social Capital": Comment on Peter Kirkow, "Russia's Regional Puzzle: Institutional Change and Economic Adaptation", *Communist Economies and Economic Transformation*, vol. 10, no. 2(1998), 272.
8. Rose R. (2000), How Much Does Social Capital Add to Individual Health? A Survey Study of Russians, *Social Science and Medicine*, 1-15 Pergamon.
9. Rose, R. (1999), What Does Social Capital Add to Individual Welfare? An Empirical Analysis of Russia, Centre for the Study of Public Policy, University of Strathclyde, Glasgow, Scotland.
10. Nikitina V. Obama's plan: not to take away and divide. *Arguments and Facts*, 2009, no. 10 (<http://aif.ru/money/article/24991>).

ПОДГОТОВКА КАДРОВ. ОБУЧЕНИЕ

УДК 378.147

ФОРМИРОВАНИЕ ГОТОВНОСТИ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ВУЗОВ К ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ АДАПТАЦИИ

Пономарева О.С., Майорова Т.В.

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

Аннотация. В статье проанализированы современные требования, предъявляемые работодателями к выпускникам вузов. Выявлены противоречия между требованиями, определяемыми научно-техническим прогрессом к роли специалиста на производстве, и существующими образовательными моделями высшей профессиональной школы. Рассмотрены теоретические предпосылки решения проблемы формирования готовности к профессиональной адаптации студентов технического вуза и основные критерии формирования готовности к профессиональной адаптации. Уточнены признаки понятия «готовность к профессиональной адаптации студентов технических вузов в системе менеджмента качества предприятия» для инженерных специальностей вузов и разработана модель формирования этой готовности. Определено содержание образовательной деятельности, обеспечивающей формирование готовности к эффективной профессиональной адаптации студента.

Ключевые слова: профессионализм, профессиональная адаптация, готовность к профессиональной адаптации, профессиональная среда, субъект деятельности, система менеджмента качества.

Введение

Реализуемая Минобрнауки России государственная политика в сфере профессионального образования направлена на решение задач, зафиксированных в Государственной программе Российской Федерации «Развитие образования» на 2013-2020 годы.

Предпосылками написания данной программы стало то, что в настоящее время ситуация на рынке труда характеризуется усилением тенденции, связанной с разрывом между спросом и предложением рабочей силы. Этот дисбаланс продолжает усиливаться, поскольку изменения структуры подготовки специалистов образовательными учреждениями не в полной мере отражают реальные потребности рынка труда [1, 3, 9].

В современных условиях экономического и социального развития общества система высшего профессионального образования призвана формировать у выпускников вузов целый ряд непрофессиональных компонентов знания и процессуально-деятельностного характера, к которым, в частности, относятся следующие:

- формирование у студентов умений целостного восприятия окружающего мира и ощущения единства с ним, а также целостного восприятия процесса и результата деятельности;

- овладение технологиями принятия оптимальных решений, умениями адаптироваться к различным изменениям, прогнозировать ход развития той или иной возникшей в ходе деятельности ситуации, предупреждать негативные последствия чрезвычайных событий;
- овладение культурой системного подхода в деятельности и важнейшими принципами ее организации, овладение принципами конструирования устойчивых систем, а также формирование у будущего выпускника вуза толерантности в суждениях и деятельности.

На наш взгляд, одной из причин неразработанности алгоритмов формирования данных качественных характеристик личности являются те обстоятельства, что:

- во-первых, педагогическая наука на сегодня недостаточно использует количественные методы исследования изучаемых объектов и процессов, математические модели, не дает четких и однозначных рекомендаций по поводу того, как достичь желаемого результата;
- во-вторых, результаты педагогических исследований слабо внедряются в практику вузовского обучения, и система высшего профобразо-

вания в ряде случаев не справляется с возложенными на нее задачами.

Таким образом, в аспекте поставленной проблемы исследования мы выделяем противоречия между:

- требованиями, определяемыми научно-техническим прогрессом к роли специалиста на производстве и существующими образовательными моделями высшей профессиональной школы, которые недостаточно адекватны современным требованиям работодателя;

- потребностью общества в профессионалах и низким уровнем готовности специалистов к осуществлению эффективной профессиональной деятельности в системе менеджмента качества предприятия.

Кроме того, актуальность проблемы определяется необходимостью выполнения государственного заказа на подготовку специалистов с высоким уровнем готовности к профессиональной деятельности в соответствии с указанными требованиями [1, 2].

Теоретические предпосылки решения проблемы формирования готовности к профессиональной адаптации студентов технического вуза

Уровень профессионализма работника, его социально-культурный статус должны оптимально соответствовать как интересам личности, так и кадровым потребностям мелких, средних и крупных предприятий.

Потребность в реализованности своего потенциала персоналом в различных сферах производства ставит вопрос целостного становления личности в профессии, установления закономерностей, в которых оно происходит. Без решения этой задачи, на наш взгляд, невозможно прогнозирование последующей эффективной профессиональной деятельности.

Решение данной проблемы ограничено рядом трудностей:

- во-первых, учение о способностях, в том числе профессиональных, ориентировано на нормативную деятельность, которая предполагает определенный способ ее выполнения. При таком подходе выпадает анализ целостной личности профессионала, а сама периодизация его становления рассматривается как совпадающая с этапами жизненного пути и поэтому жестко ограничена временными рамками [2];

- во-вторых, по дисциплинам социально-экономического циклов государственные стандарты не предусматривают профессиональной специфики образования, а значит, не ориенти-

руют преподавателей на формирование готовности студентов к эффективной профессиональной адаптации. Третья обусловлена наличием в каждой специальности многофункциональной и межотраслевой специализации студентов.

В связи с этим, актуальным становится поиск педагогических мер, реализация которых позволила бы обеспечить как формирование готовности к профессиональной адаптации студента в процессе общепрофессионального образования, так и повышение его эффективности.

Эффективность профессиональной адаптации человека связана с особенностями формирования в процессе профессиональной подготовки психических образов (моделей) как профессии в целом, так и профессиональной деятельности.

Психологическая модель профессиональной деятельности формируется в процессе высшего профессионального образования и включает в себя следующие субмодели:

- профессиональной среды (как системы образов предмета труда, алгоритма деятельности и т.д.);
- профессиональной деятельности (как системы образов взаимодействия субъекта труда с профессиональной средой, а также образов целей, результатов, способов их достижения и др.);
- субъекта деятельности (как совокупности образов, отражающих систему свойств и отношений личности).

Фактором адаптации и профессионального развития личности, по нашему мнению, является ее целостная внутренняя среда, то есть вся совокупность свойств и особенностей личности, лежащих в основе эффективной профессиональной адаптации.

Процесс «профессионализации личности» характеризуют три компонента: содержательный, ценностно-мотивационный и функционально-деятельностный. Содержательный компонент раскрывает основной смысл профессионализации. Он может быть познавательным, профессиональным, идеологическим, политическим и т.д. Ценностно-мотивационный компонент показывает формы проявления профессионализации личности, структурные элементы, через которые можно определить ее качества: принципы, взгляды, убеждения, идеалы, установки, потребности, мотивы, интересы, желания и влечения. Функционально-деятельностный компонент характеризует динамические тенденции профессионализации, ее функции в структуре деятельности человека [3]. Тогда определение понятия «профессионализация личности», на

наш взгляд, может быть сформулировано следующим образом: профессионализация личности есть интегративная подструктура личности, обеспечивающая способность к выживанию и достижению профессионального успеха в определенных социально-культурных условиях деятельности и выражающаяся в ее потребностях (превращения труда в культуру), принципах, взглядах, убеждениях (личностный выбор на основе свободы и ответственности).

Развитие личности в процессе адаптации – это творческая самореализация, творческая адаптация к изменяющимся условиям профессиональной среды посредством инновационной, творческой деятельности. Творческая деятельность – это показатель эффективной профессиональной адаптации.

«Профессиональная адаптация личности» есть соподчиненное понятие для понятия «профессионализация». Мы считаем, что и его, как родовое понятие, также характеризуют три компонента: содержательный, ценностно-мотивационный и функционально-деятельностный. Именно они определяют его целостную характеристику, позволяют обеспечить разработку адекватных его содержанию механизмов формирования готовности студента технического вуза к профессиональной адаптации в процессе профессионального образования. Творческая деятельность – это показатель эффективной профессиональной адаптации [2, 4].

Под «готовностью к эффективной профессиональной адаптации» мы понимаем результат профессиональной подготовки студентов в условиях внедрения новой образовательной парадигмы с учетом требований современного социально-экономического развития рынка труда.

Готовность студентов технического вуза к эффективной профессиональной адаптации рассматривается нами как динамическая, интегративная система личностных образований, включающая личностный, функциональный, психофизиологический и социальный уровни организации и обеспечивающая его конкурентоспособность в современных социально-экономических условиях при выполнении профессиональной деятельности. Формирование готовности к эффективной профессиональной адаптации – это процесс освоения личностью знаний, умений, навыков и опыта профессиональной деятельности, процесс развития компонентов личностного потенциала.

Высокий уровень развития данных характеристик является условием, необходимым для достижения личностью состояния адаптирован-

ности в процессе ее взаимодействия с профессиональной средой. Поэтому целенаправленное формирование личности профессионала, формирование и развитие его способностей к эффективной профессиональной адаптации в системе менеджмента качества предприятия должно стать неотъемлемой частью процесса профессиональной подготовки выпускников вузов к их будущей деятельности.

Признаками готовности студентов к эффективной профессиональной адаптации при этом выступают уровень осуществления деятельности (исполнительский, планирования, проектирования); уровень освоения профессиональной деятельности (непрофессионал, специалист, профессионал); «широта направленности» – творческий подход к соответствующей деятельности; устойчивость развития деятельности – последовательная деятельность; ценностные мотивы деятельности. Формирование готовности к эффективной профессиональной адаптации возможно в рамках проектировочной деятельности по построению в образовательном процессе части профессиональной среды предприятия (система образов предмета труда, алгоритма деятельности и т.д.), центром которой становится студент (субмодель субъекта деятельности). Формирование готовности к профессиональной адаптации эффективнее осуществлять в рамках личностно-компетентностно-системного подхода, который направлен на развитие активности личности, ее саморазвитие, самоуправление и самореализацию.

Таким образом, по нашему мнению, готовность студентов технического вуза к эффективной профессиональной адаптации характеризует [7]:

- уровень сформированности у студентов профессиональных знаний и умений для выполнения организационно-управленческой, производственно-технологической, научно-исследовательской и проектной инженерной деятельности;
- уровень идентичности деятельности: близость представлений о собственных личностных качествах и качествах, присущих профессионалу; близость ценностей личности и профессионала; удовлетворенности трудом и удовлетворенности профессией;
- уровень профессиональной зрелости: уровень сформированности механизмов планирования деятельности, программирования действий, оценки результатов и их коррекции;
- уровень профессиональной продуктивности: оценка показателей надежности и производительности профессиональной деятельности.

Формирование готовности студентов технического вуза к эффективной профессиональной адаптации в системе менеджмента качества предприятия

Для освещения прикладной значимости нашего исследования мы остановили свой выбор на такой основной характеристике эффективной профессиональной среды предприятия, как система менеджмента качества (Total Quality Management).

Всеобщее управление качеством (Total Quality Management) – это философия организации, которая основана на стремлении к качеству и практике управления, приводящей к всеобщему качеству. Отсюда качество – это не то, что приходится отслеживать или добавлять на каком-то этапе производственного процесса, это сама сущность организации. TQM необходимо всем организациям, желающим не только выйти из кризиса, но и начать конкурировать с экономически развитыми странами.

В концепции TQM персонал рассматривается как главный ресурс организации, которая должна создать все условия для максимального использования его творческого потенциала. При полной вовлеченности сотрудников достигается мощный эффект, когда совокупный результат коллективной работы существенно превосходит сумму результатов отдельных исполнителей [5]. По нашему мнению, действуя в общеобразовательном процессе подготовки специалистов на основе принципов менеджмента качества, следуя модели развития личностного потенциала субъекта профессиональной деятельности, мы добьемся оптимальной сформированности основных компонентов готовности к профессиональной адаптации в системе менеджмента качества предприятия [6, 7].

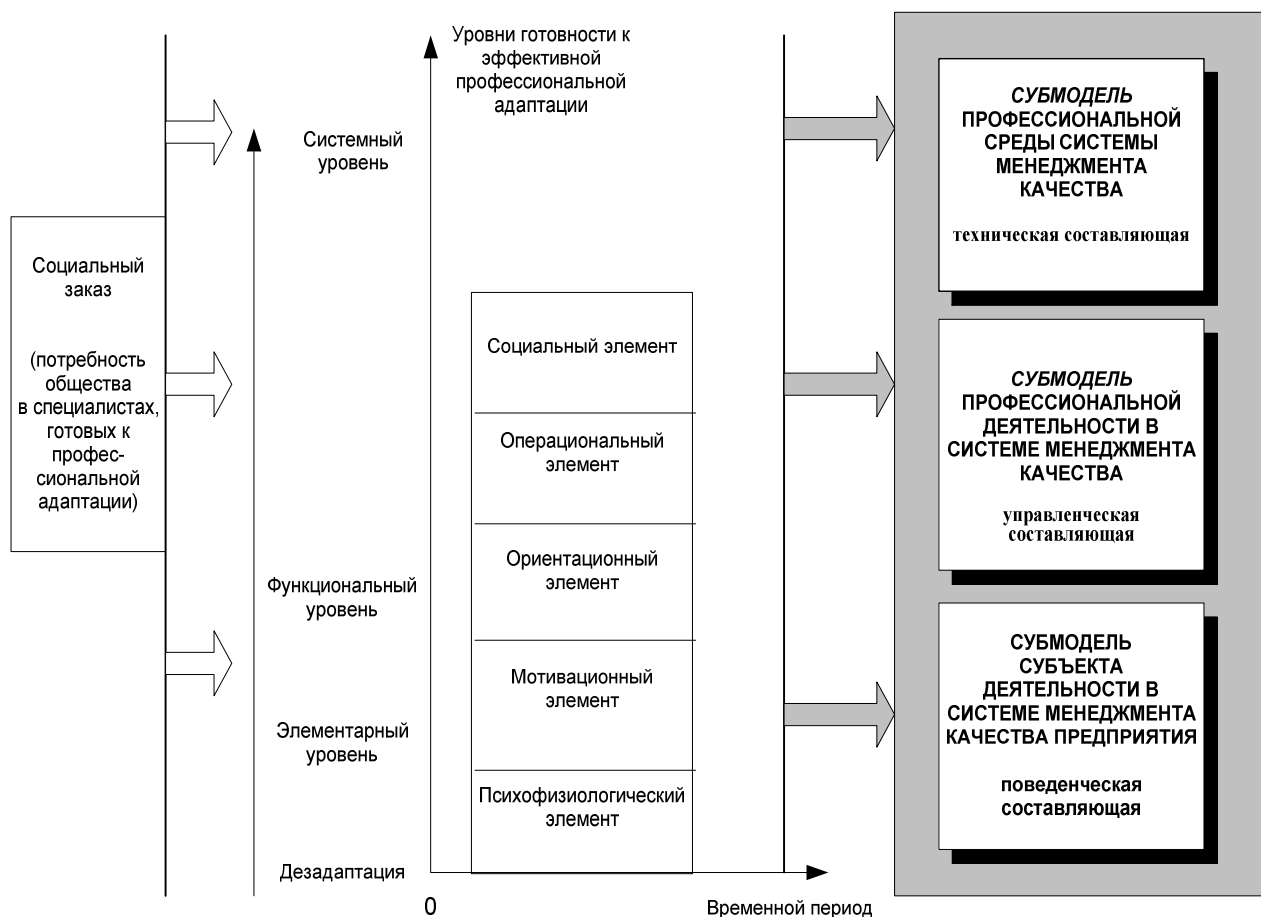
Принципы менеджмента качества предприятия представлены в **таблице**.

Осознанная высшим руководством необходимость перемен в системе управления производством приводит к восприятию ценностей системы менеджмента качества, включающей три составляющие: технический, поведенческий, управленческий аспекты. Следование в обучении выделенным принципам деятельности в системе менеджмента качества: полной вовлеченности, постоянного совершенствования, фактической обоснованности решений ставит студента в позицию субъекта качественной профессиональной деятельности, способствуя развитию необходимых навыков и алгоритмов действий, формирует стремление к самоактуализации, активности личности, формируя стрессовую пластичность к совокупности воздействующих факторов профессиональной среды.

Принципы менеджмента качества предприятия

Принципы системы менеджмента качества предприятия	Содержательный аспект принципа
1. Полная вовлеченность	– активный поиск возможностей повышения профессионализма; – добровольная передача знаний и умений в коллективах; – принятие на себя ответственности за решение проблем; – активный поиск возможностей улучшений; – ориентация на создание ценности для потребителя; – рационализаторство и творчество; – лучшее представление организации потребителям и обществу; – энтузиазм и гордость работников от сознания того, что они являются частью организации
2. Постоянное совершенствование	– определение в качестве цели каждого сотрудника организации непрерывного совершенствования продукции, процессов и систем; использование периодической оценки для определения области возможного совершенствования; – постоянное повышение производительности и эффективности всех процессов; – принцип непрерывного образования
3. Фактическая обоснованность решений	– проведение измерений, сбор целевых данных и информации; – обеспечение достаточно полными, достоверными и точными данными и информацией; – анализ данных и информации; – понимание значимости подходящих статистических методов; – принятие решений и выполнение действий, базирующихся на результатах логического анализа соотношения практического опыта и интуиции

Структурно-логическая схема формирования готовности к профессиональной адаптации в системе менеджмента качества предприятия представлена на **рисунке**.



Структурно логическая схема формирования готовности к эффективной профессиональной адаптации

Заключение

Содержание образовательной деятельности, обеспечивающей готовность к профессиональной адаптации студента в системе менеджмента качества, на наш взгляд, должно отвечать следующим требованиям:

1. Соответствие содержания образования современным требованиям научных достижений в сфере менеджмента качества.

2. Использование современных технических средств обучения, информационное обучение на уровне мировых стандартов.

3. Ориентированность профессиональной подготовки на развитие личностного потенциала субъекта, обеспечиваемая личностно-ориентированным подходом.

4. Совместная деятельность преподавателя и студентов должна быть основана на сотрудничестве, под которым понимают, прежде всего, стиль отношений, исключающий какое-либо принуждение со стороны преподавателя и основывающийся на совместной деятельности пре-

подавателя и студента в поиске решения учебных проблем [8].

5. Расширение объема специальных и общетеоретических знаний за счет введения профилированных спецкурсов, семинаров, практикумов по тематике системы менеджмента качества предприятия [9].

Список литературы

1. Исламгалиев Ф.Г. О государственной политике в сфере подготовки инженерно-технических кадров // Профессиональное образование и рынок труда. 2013. №3. С. 4-8.
2. Маркова А.К. Психология профессионализма. М.: Знания, 1996. 308 с.
3. Фонарев А.В. Развитие личности в процессе профессионализации. М.: Педагогика, 2002. 60 с.
4. Лешер О.В., Шавырина А.Е. Содержательные особенности готовности специалиста к управлению конфликтом в профессиональной деятельности // Сибирский педагогический журнал. 2011. №4. С. 255-261.
5. Эльконин Б.Д. Психология развития. М.: ИЦ «Академия», 2001. 134 с.
6. Фатхутдинов Р.А. Система менеджмента качества. М.: ЗАО Бизнес-школа «ИНТЕЛ-СИНТЕЗ», 1997. 352 с.
7. Пономарева О.С. Педагогические аспекты процесса форми-

- рования адаптированной личности в систему менеджмента качества предприятия // Проблемы устойчивого развития в системе образования, науки и инновационного взаимодействия: сб. науч. тр. М.: МЦОС, 2006. С. 77-79.
8. Семенова О.А. Влияние педагогических технологий на развитие профессиональной направленности студентов в графической деятельности // Вестник Магнитогорского государственного

технического университета им. Г.И. Носова. 2012. №1(37). С. 94-98.

9. Пономарева О.С. Управление образовательными программами в корпоративных интересах // Организационный менеджмент: состояние, проблемы, тенденции: сб. ст. II Межд. науч.-метод. конф. / под ред. Б.Н. Герасимова. Пенза: Приволжский дом знаний, 2004. С. 157-159.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

FORMING OF TECHNICAL UNIVERSITY STUDENTS' READINESS FOR VOCATIONAL ADJUSTMENT

Ponomareva Olga Stanislavovna – Ph.D. (Education), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: slava_5@inbox.ru.

Maierova Tatiana Vladimirovna – Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: mtv1_2010@rambler.ru.

Abstract. The article analyzes the modern requirements of employers for graduates. Revealed contradictions between the requirements defined by scientific and technological progress for a specialist's role at the place of production and existing educational models of higher vocational school. We considered the theoretical background to solve the problem of formation of technical university students' readiness for vocational adjustment and main criteria for the formation of readiness for vocational adjustment. We specified features of the concept "readiness of technical university students for vocational adjustment in the quality management system of a company" for engineering occupations of higher educational institutions and developed a model for the formation of such readiness. We determined the content of educational activities to ensure students' readiness for efficient vocational adjustment.

Keywords: professionalism, vocational adjustment, readiness for vocational adjustment, professional environment, actor, quality management system.

References

1. Islamgaliev F.G. State Policy in the Field of Engineering Staff Training. *Professional'noe obrazovanie i rynek truda* [Vocational education and employment market]. 2013, no. 3, pp. 4-8.
2. Markova A.K. *Psikhologiya professionalizma* [Professionalism Psychology]. Moscow: Znaniya, 1996, 308 p.
3. Fonarev A.V. *Razvitie lichnosti v protsesse professionalizatsii* [Personality Development in the Course of Professional Development]. Moscow: Pedagogics, 2002, 60 p.
4. Leshner O.V., Shavirina A.E. Content Characteristics of Specialist Readiness for Conflict Management in Professional Activities. *Sibirskii pedagogicheskii zhurnal* [Siberian pedagogical journal]. 2011, no. 4, pp. 255-261.
5. Elkonin B.D. *Psikhologiya razvitiya* [Development Psychology]. Moscow: Publishing House "Academia", 2001. 134 p.
6. Fathutdinov R.A. *Sistema menedzhmenta kachestva* [Quality Management System]. M.: Business school "INTEL-SYNTET" CJSC, 1997, 352 p.
7. Ponomareva O.S. Pedagogical Aspects of Forming a Personality Adapted to the Company Quality Management System. *Problemy ustojchivogo razvitiya v sisteme obrazovaniya, nauki i innovatsionnogo vzaimodejstviya: sb. nauch. tr.* [The Sustainable Development Issues In the System of Education, Science and Innovation Relationship: Collection of scientific articles]. M.: MCHOS, 2006, no. 1, pp. 77-79.
8. Semenova O.A. The influence of the pedagogical technologies on the development of the students' professional trend in the drawing activities. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2012, no. 1(37), pp. 94-98.
9. Ponomareva O.S. Training Program Management for the Benefit of the Enterprise. *Organizatsionnyi menedzhment: sostoyanie, problemy, tendentsii: sb. st. II Mezhd. nauch.-metod. konf. / pod red. B.N. Gerasimova* [Organizational Management: Its State, Problems, Trends: Collection of scientific articles of the II International scientific conference. Ed. B.N. Gerasimov]. Penza: Privolzhsky House of knowledge, 2004, pp. 157-159.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Антошкина Елизавета Григорьевна – канд. техн. наук, доц. кафедры «Неорганическая химия» ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет), Россия. Тел.: (351) 267-93-76. E-mail: aeg-2007@mail.ru.

Арефьев Степан Александрович – преп. кафедры разработки месторождений открытым способом, Уральский государственный горный университет, Екатеринбург. Тел. 257-22-44. E-mail: arefevsa@yandex.ru.

Брановец Наталья Евгеньевна – ст. преподаватель кафедры автоматизации и информационных систем Рудненского индустриального института, Казахстан. E-mail: branovetsne@mail.ru.

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

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

Ворошилова Марина Владимировна – ведущий инженер кафедры «Техносферная безопасность горного и металлургического производства» института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия. Тел.(8391) 2063618. E-mail: aniram1988@yandex.ru.

Высотина Алена Андреевна – студентка кафедры «Обработка металлов давлением» института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия. E-mail: las_vegas_24@mail.ru.

Галайко Александр Владимирович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Техносферная безопасность горного и металлургического производства» института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия. Тел.(8391) 2063618.

Горбунов Андрей Викторович – начальник лаборатории высокопрочных сталей ЦЛК ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», Россия. E-mail: Gorbunov.av@mmk.ru.

Горохова Ольга Валерьевна – ассист. кафедры менеджмента института экономики и управления ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. Тел.: (3519)23-04-28.

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

Денисова Юлия Александровна – аспирант Института сильноточной электроники СО РАН, г.Томск, Россия.

Егоров Виктор Николаевич – студент 5 курса кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: EgorovVN74@yandex.ru.

Иванов Юрий Федорович – д-р физ.-мат. наук, проф. ведущий научный сотрудник Института сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия. Тел.: (3843) 78-43-66. E-mail: yufi55@mail.ru.

Каримова Люция Монировна – канд. хим. наук, вед. науч. сотр. ТОО «Инновация», г. Караганда, Казахстан. E-mail: lutsia.08@mail.ru.

Коновалов Сергей Валерьевич – д-р техн. наук, проф. кафедры физики ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г.Новокузнецк, Россия.

Коростовенко Вячеслав Васильевич – д-р техн. наук, проф. кафедры «Техносферная безопасность горного и металлургического производства» института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия. Тел. (8391) 2063618.

Кузнецова Татьяна Владимировна – аспирант кафедры «Динамика и прочность машин», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия. Тел.: 8 (342) 239-13-40. E-mail: dpm@pstu.ru.

Курмачев Юрий Федорович – канд. техн. наук, доцент кафедры высшей математики – 2 ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия. E-mail: kurmach@mail.ru.

Леушин Игорь Олегович – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Металлургические технологии и оборудование», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Россия. Тел.: 8 (831) 436-43-95. E-mail: igoleu@mail.ru.

Лукьянов Сергей Анатольевич – зам. начальника цеха по технологии ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», Россия. E-mail: lukanov.sa@mmk.ru.

Майорова Татьяна Владимировна – ст. преп. кафедры менеджмента ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: mtv1_2010@rambler.ru.

Митасов Владимир Сергеевич – аспирант кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: v.s.mitasov@gmail.com.

Насонов Вадим Вячеславович – инженер лаборатории холодного проката ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», Россия. E-mail: Nasonov.vv@mmk.ru.

Нищенков Александр Владимирович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Металлургические техно-

логии и оборудование», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Россия. Тел.: 8 (831) 436-24-96. E-mail: goz@nntu.nnov.ru.

Одер Дарья Евгеньевна – аспирантка кафедры стратегического планирования и экономической политики Факультета государственного управления Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Россия. Тел.: 8 (916) 001-23-97. E-mail: daria.oder@gmail.com.

Панин Юрий Валерьевич – аспирант кафедры «Динамика и прочность машин», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия. Тел.: 8 (342) 239-13-40. E-mail: dpm@pstu.ru.

Пашинский Владимир Викторович – д-р техн. наук, проф. кафедры «Физическое материаловедение» ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Украина. Тел.: 38(062)301-08-57. E-mail: vvpashynsky@gmail.com.

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

Пономарева Ольга Станиславовна – канд. пед. наук, доц. кафедры менеджмента ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: slava_5@inbox.ru.

Романов Денис Анатольевич – канд. техн. наук, доц. кафедры физики ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет», г.Нововкузнецк, Россия.

Румянцев Михаил Игоревич – канд. техн. наук, проф. кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: mihigrum@rambler.ru.

Смолко Виталий Анатольевич – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Неорганическая химия» ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет), г. Челябинск, Россия. Тел.: (351) 267-93-76. E-mail: smolko-2007@mail.ru.

Соколов Руслан Евгеньевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Обработка металлов давлением» института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия. E-mail: sokolov.sfu@gmail.com.

Стаценко Лариса Геннадьевна – канд. техн. наук, доц.кафедры автоматизации и информационных систем Рудненского индустриального института, Казахстан. E-mail: stacenko_larisa@mail.ru.

Степанов Александр Германович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Техносферная безопасность горного и металлургического производства» института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия. Тел.(8391) 2063618.

Субботин Владислав Владимирович – аспирант ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: vladsubbotin@yandex.ru.

Субботина Мария Геннадьевна – аспирант кафедры «Физическое материаловедение» ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Украина. Тел.: 38(062)301-08-57. E-mail: pbm-box@mail.ru.

Тересов Антон Дмитриевич – младший научный сотрудник Института сильноточной электроники СО РАН, г.Томск, Россия.

Трофимов Виктор Николаевич – д-р техн. наук, проф. кафедры «Динамика и прочность машин», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия. Тел.: 8 (342) 239-13-40. E-mail: dpm@pstu.ru, tvn_perm@mail.ru.

Усманова Клара Фуадовна – д-р экон. наук, проф., зав. кафедрой экономики и маркетинга института экономики и управления ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 23-03-71.

Филимонов Семен Юрьевич – канд. техн. наук, научный сотрудник Института сильноточной электроники СО РАН, г.Томск, Россия.

Чистяков Дмитрий Геннадьевич – аспирант кафедры «Металлургические технологии и оборудование», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Россия. Тел.: +7 (952) 460-21-97. E-mail: chistyakov.nstu@bk.ru.

Шардин Алексей Андреевич – аспирант кафедры «Динамика и прочность машин», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия. Тел.: 8 (342) 239-13-40. E-mail: dpm@pstu.ru.

Шубин Игорь Геннадьевич – канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия. E-mail: Shubin64@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.

ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ, ПРИНИМАЕМЫМ К ПУБЛИКАЦИИ

1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СТАТЬИ (на русском и английском языках)

- 1.1. Наименование** статьи (не более 15 слов). Должно кратко отражать содержание статьи. Не рекомендуется использовать сокращения и аббревиатуры.
- 1.2. Аффiliation.** Указывается фамилия, имя, отчество авторов (транслитерация), ученая степень, звание, должность, полное название организации (ее официально принятый английский вариант), адрес электронной почты хотя бы одного из авторов.
- 1.3. Аннотация** (100-250 слов). Включает гипотезу, цель, эксперименты и методы, основные результаты, применение результатов исследования в промышленности (излагается в прошедшем времени).

Онлайн-перевод запрещается!

- 1.4. Ключевые слова:** от 5 до 15 основных терминов.

2. СТРУКТУРА ОСНОВНОЙ ЧАСТИ СТАТЬИ

- 2.1. Введение** (постановка проблемы)
- 2.2. Теория, материалы и методы исследования, технические и технологические разработки**
- 2.3. Результаты исследования и их обсуждение**
- 2.4. Заключение** (выводы)
- 2.5. Список литературы** (на русском и английском языках)

3. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

- 3.1.** Рекомендуемый объем статьи – 6-8 стр.
- 3.2.** Текст статьи, сведения об авторах, аннотация ключевые слова и список литературы представляются на электронном носителе в виде файла, созданного средствами **Microsoft Word**, и распечаткой на стандартных листах бумаги формата А4.

При наборе статьи в **Microsoft Word** рекомендуются следующие установки:

- **шрифт** – **Times New Roman**, размер – 14 пт, межстрочный интервал – одинарный, перенос слов – автоматический;
- при вставке **формул** использовать встроенный редактор формул **Microsoft Equation** со стандартными установками, применяется только сквозная нумерация;
- **рисунки и фотографии**, вставленные в документ, должны быть четко выполнены, допускать перемещение в тексте и возможность изменения размеров (толщины линий и размеры обозначений должны обеспечивать четкость при уменьшении рисунка до рациональных размеров), в форматах *.TIF, *.JPG, с разрешением **не менее 300 dpi**, B&W – для черно-белых иллюстраций, Grayscale – для полутонов. Максимальный размер рисунка с подписью – 150×235 мм. В тексте статьи должны быть подрисовочные подписи в местах размещения рисунков. Например:

Рис. 4. Расчётная зависимость $\gamma(t)=I_m/I_{n0}$ от времени и удалённости КЗ от выводов асинхронного двигателя

- **таблицы** нумеруются, если их число более одной. Заголовков необходимо, когда таблица имеет самостоятельное значение, без заголовка дают таблицы вспомогательного характера.

- 3.3.** При подготовке рукописи необходимо руководствоваться Международной системой единиц **СИ**.

4. ДОКУМЕНТЫ, ПРИЛАГАЕМЫЕ К СТАТЬЕ

- 4.1. Рецензия.**
- 4.2. Экспертное заключение** о возможности опубликования.
- 4.3. Договор.**

Внимание! Публикация статей является бесплатной. Преимущество опубликования предоставляется авторам и учреждениям, оформившим подписку на журнал.

Статьи проходят обязательное научное рецензирование.

Редакция оставляет за собой право отклонять статьи, не отвечающие указанным требованиям.

По вопросам публикации статей обращаться: 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. Магнитогорский государственный технический университет, Редколлегия журнала «Вестник МГТУ» М.В. Чукину.

Телефоны: (3519) 29-85-26, 22-14-93.

E-mail: rio_mgtu@mail.ru; vestnik@mgtu.ru (с указанием темы сообщения «Вестник МГТУ»).