

ВЕСТНИК

Магнитогорского государственного
технического университета им. Г. И. Носова

№ 3 (27) сентябрь 2009 г.

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ, а также в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук по рекомендации экспертных советов ВАК РФ по разработке месторождений твердых полезных ископаемых, металлургии и металловедению. 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 ГОУ 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;

А.Б. Сычков – зам. начальника техотдела Молдавского металлургического завода, д-р техн. наук;

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

Maciej Pietrzyk – Professor Akademia Gorniczo-Hutnicza, Krakow, Poland.

Редакционная коллегия:

Главный редактор:

Г.С. Гун – проф., д-р техн. наук.

Заместитель:

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

Члены редколлегии:

В.А. Бигеев – проф., д-р техн. наук;

К.Н. Вдовин – проф., д-р техн. наук;

С.Е. Гавришев – проф., д-р техн. наук;

В.Н. Калмыков – проф., д-р техн. наук;

С.И. Лукьянов – проф., д-р техн. наук;

С.И. Платов – проф., д-р техн. наук;

В.М. Салганик – проф., д-р техн. наук.

Ответственные редакторы по научным направлениям экспертных советов ВАК РФ:

Т.С. Кузнецова – доц., канд. техн. наук;

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

М.В. Шубина – доц., канд. техн. наук.

© ГОУ ВПО «МГТУ», 2009

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

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

Адрес редакции:

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38

Тел.: (3519) 29-85-17

Факс (3519) 23-57-60

E-mail: vestnik@magtu.ru

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

Отпечатан на полиграфическом участке МГТУ.

Подписано к печати 17.09.2009.

Заказ 653. Тираж 500 экз. Цена свободная.



VESTNIK

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

№ 3 (27) September 2009

The journal is included in the Abstract Journal and the database of All-Russian Institution of Scientific and Technical information, and also in the List of the leading reviewed scientific journals and publications. On recommendation of advisory committee in the development of mineral resource deposits and metallurgy, the scientific results of candidates for Ph.D. theses are to be published in the above-mentioned journals. Internet versions of the journal can be found on the Scientific Electronic Library site in the Internet.

PUBLISHED SINCE MARCH, 2003

Editorial committee

Chairman of editorial committee:

V. M. Kolokoltsev – rector of State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov», D. Sc

Members of the editorial committee:

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

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

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

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

A. B. Sychkov – deputy chief of engineering department at Moldavia metallurgical plant, D. Sc.

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

Maciej Pietrzyk – Professor Akademia Gorniczo-Hutnicza, Krakow, Poland.

Editorial staff

Editor-in-chief:

G. S. Gun – Prof., D. Sc.

Deputy chief editor:

M. V. Chukin - Prof., D.Sc.

Members of the editorial staff:

V. A. Bigeev – Prof., D.Sc.

K. N. Vdovin – Prof., D.Sc.

S. E. Gavrishev – Prof., D.Sc.

V. N. Kalmykov – Prof., D.Sc.

S. I. Luk'yanov – Prof., D.Sc.

S. I. Platov – Prof., D.Sc.

V. M. Salganik – Prof., D.Sc.

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

T. S. Kuznetsova – Assoc. Prof., Ph.D.

M. A. Polyakova – Assoc. Prof., Ph.D.

M. V. Shubina - Assoc. Prof., Ph.D.

© State Educational Institution of Higher Professional Education
«Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov», 2009

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

Registration certificate ПИ № ФС11-1157 April 18, 2007 г.

Editorship address:

455000, city Magnitogorsk, Lenin Str. 38

Phone number: (3519)29-85-17

Fax: (3519)23-57-60

Email: vestnik@magtu.ru

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

Signed for press 17.09.2009.

Order 653. Circulation – 500 items. Free price.



СОДЕРЖАНИЕ

Разработка полезных ископаемых.....	5
<i>Кузнецова Т.С., Мецераков Ю.Б., Некерова Т.В.</i> Предельная высота подработанного откоса подземными выработками при действии объемных сил.....	5
<i>Мецераков Э.Ю., Угрюмов А.Н.</i> Геомеханическое обоснование области применения систем разработки с обрушением руд и пород при освоении месторождения «Чабачье».....	8
<i>Гибадуллин З.Р., Волков П.В.</i> Методика оценки вариантов перемещения руды при отработке приконтурных запасов.....	11
<i>Гмызина Н.В.</i> Интенсификация процесса измельчения конвертерных шлаков.....	13
Металлургия черных, цветных и редких металлов.....	15
<i>Колокольцев В.М., Столяров А.М., Молочков П.А., Потапов М.Г., Мулявко М.Н., Цыбров С.В.</i> Взаимосвязь химического состава, механических свойств и износостойкости среднехромистых чугунов для сортопрокатных валков.....	15
<i>Ячиков И.М., Портнова И.В., Харченко О.А.</i> Характер электровихревого течения металла в ванне ДППТ при изменении положения катода.....	18
<i>Горохов Ю.В., Солопко И.В., Константинов И.Л.</i> Основы проектирования конструктивных параметров установки непрерывного литья-прессования металлов.....	20
<i>Сибгатуллин С.К., Майорова Т.В., Чевычелов А.В., Гостенин В.А., Сенькин К.В.</i> Сравнение свойств стабилизированного агломерата ОАО «ММК» и окатышей ССГПО.....	23
<i>Кирич Ю.П., Затонский А.В., Беккер В.Ф.</i> Построение моделей динамики сложных технологических объектов в позиционных системах управления.....	25
<i>Чуманов И.В., Трофимов Е.А., Чуманов В.И.</i> Изучение физико-химических аспектов поведения искусственно введенных дисперсных частиц карбида титана в объеме жидкой металлической матрицы при больших скоростях кристаллизации.....	28
Обработка металлов давлением.....	32
<i>Козлов А.В., Шеркунов В.Г.</i> Влияние холодной гибки с раскатыванием на толщину стенок изгибаемой трубы.....	32
<i>Беляев С.В.</i> Статика и геометрия очага деформации при совмещенной прокатке-пресовании с одним приводным валком.....	34
Технологии обработки металлов.....	38
<i>Кусков В.Н., Зябкин О.В., Крылов А.П., Потапов Д.А.</i> Термическое влияние параметров импульсной сварки методом СТТ на структуру соединения.....	38
<i>Рудницкий Э.А., Довженко Н.Н., Ходюков Б.П.</i> Исследование свойств новых палладиевых сплавов и совершенствования технологии их обработки.....	41
Наноматериалы и нанотехнологии.....	45
<i>Ефимова Ю.Ю., Копцева Н.В., Никитенко О.А.</i> Исследование состояния карбидной фазы после наноструктурирования и последующего волочения низкоуглеродистой стали.....	45
Стандартизация, сертификация и управление качеством.....	49
<i>Мезин И.Ю., Яковлева Е.С.</i> Оценка результативности метрологического обеспечения производства автокомпонентов.....	49
<i>Голубчик Э.М., Щуров Г.В.</i> Формирование качественных показателей при производстве профилей высокой жесткости.....	52
<i>Баскакова Н.Т.</i> Подсистема СМК планирования ремонтов.....	55
Надежность и долговечность металлургического оборудования.....	58
<i>Дудоров Е.А., Жиркин Ю.В., Паришин П.Р.</i> Повышение герметизации подшипниковых узлов рабочих валков клетки «КВАРТО».....	58
<i>Кадошников В. И., Куликов С. В., Куликова Е.В., Кадошникова И.Д., Аксёнова М.В.</i> Анализ современных методов технического обслуживания металлургического оборудования.....	61
Энергетика и теплоэнергетика металлургической отрасли.....	66
<i>Петрищев С.А., Сергеев Ю.С.</i> Расчет массоэнергетических характеристик дискового вентильного двигателя.....	66
<i>Задонская Т.А., Швецова Е.С., Копцев В.В.</i> Горение высокоскоростных потоков природного газа.....	67
<i>Баранкова И.И., Коринченко Г.М.</i> Определение тепловых параметров анизотропных тел на основе решения обратных задач.....	69
Переработка техногенных образований.....	72
<i>Мишурина О.А.</i> Электрофлотационное извлечение марганца из гидротехногенных ресурсов горных предприятий.....	72
Экология окружающей среды.....	75
<i>Дзапаров В.Х.</i> Угроза безопасности жизнедеятельности региона РСО-Алания.....	75
Рефераты.....	77
Reports.....	82
Сведения об авторах.....	87
The information about the authors.....	91

CONTENT

Exploitation of mineral resources	5
<i>Kuznetsova T.S., Mesheryakov YU.B., Neckerova T.V.</i> The Limit height of flank of an opencast, which work up underground headings at action of three-dementional powers	5
<i>Mecsherykov E.Y., Ugryumov A. N.</i> Geomechanical substantiation of a scope of systems of working out with a collapse of ores and breeds at development of deposits	8
<i>Gibadyllin Z.R., Volkov P.V.</i> Technique of the estimation of variants of moving of ore at working off at the planimetric stocks....	11
<i>Gmyzina N.V.</i> Improvement of the grinding converter`s slag	13
Metallurgy of Ferrous, Non-ferrous and Rare Metals	15
<i>Kolokoltsev V.M., Stolyarov A.M., Molochkov P.A., Muljavko M.N., Tsybrov S.V.</i> Interrelation of chemical compound mechanical properties and middle chromic cast iron is wear resistance for bar mill rollers	15
<i>Jachicov I.M., Portnova I.V., Harchenko O.A.</i> Character electroturbulence of current of metal in a bath at DC arc fumace at change of a situation of the cathode.....	18
<i>Gorohov Yu.V., Solopko I.V., Konstantinov I.L.</i> The foundations of form factor designing for a continuous transfer molding device.....	20
<i>Sibagatullin S., Majorova T., Chevychelov A., Gostenin B., Senkin K.</i> Compare of properties of the stabilised agglomerate of Open Society "MMK" and rolled briquette.....	23
<i>Kirin U.P., Zatonsky A.V., Bekker V.F.</i> The dynamic model of complex technology objects building to the position control system.....	25
<i>Chumanov I.V., Trofimov E.A., Chumanov V.I.</i> Study of physical-chemical aspects of behaviour of artificially introduced disperse particles of titanium carbide in the volume of liquid metal matrix at high speed of crystallization	28
Technologies of Metal Forming	32
<i>Kozlov A. V., Sherkunov V. G.</i> The effect of cold bending by expanding on the wall thickness of a tube curved.....	32
<i>Belyaev S.V.</i> The Statics and Geometry of Asymmetrical Deformation Zone during Combined Rolling and Pressing with a single drive roll	34
Metal working technologies.....	38
<i>Kuskov V.N., Zybakin O.V., Krylov A.P., Potapov D.A.</i> Thermal influence of STT impulse welding on the structure of the joint.....	38
<i>Rudnitskij E.A., Dovzhenko N.N., Hodjukov B.P.</i> The study of new palladium alloys properties and technological development of their processing.....	41
Nanomaterials and nanotechnologies	45
<i>Yefimova J.J., Koptseva N.V., Nikitenko O.A.</i> Research of carbide phase after nanostructuring process and the subsequent drawing of low-carbon steel	45
Standardization, certification and quality control.....	49
<i>Mezin I.Yu., Yakovleva E.S.</i> Metrological assurance efficiency estimation of automotive components production.....	49
<i>Golubchik E.M., Churov G.V.</i> Formation of quality indicators with the production of the roll-formed section of high stiffening sections	52
<i>Baskakova N.T.</i> SMK Subsystem of repair planning.....	55
Wear-Resistance and reliability of metallurgical equipment.....	58
<i>Dudorov E.A., Zhirkin YU.V., Parshin P.R.</i> The way to enhance the pressurization of the bearing units of a four-high mill stand work rolls.....	58
<i>Kadoshnikov V.I., Kulikov S.V., Kulikova E.V., Kadoshnikova I.D., Aksenova M.V.</i> The analysis of modem methods of maintenance service of the metallurgical equipment.....	61
Power Supply and Heat Power of Metallurgy.....	66
<i>Petrishev S.A., Sergeev Y.S.</i> Calculation of masso-power characteristics of the disk gated engine.....	66
<i>Zadonskaya T.A., Shvetzova E.S., Koptsev V.V.</i> Highspeed burning of natural gas torrents	67
<i>Barankova I.I., Korinchenko G.M.</i> Definition thermophysics parameters of anisotropic bodies on the basis of the decision of return problems	69
Recycling of Technogenic Solutions.....	72
<i>Mishurina O.A.</i> Electroflotation extraction of manganese from the hydro-technological resources of the mining works.....	72
Environmental ecology.....	75
<i>Dzaparov V.Kh.</i> Life threat of RSO-Alaniya reion.....	75
Reports.....	82
The information about the authors	91

РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.271.333

Кузнецова Т.С., Мещеряков Ю.Б., Некерова Т.В.

ПРЕДЕЛЬНАЯ ВЫСОТА ПОДРАБОТАННОГО ОТКОСА ПОДЗЕМНЫМИ ВЫРАБОТКАМИ ПРИ ДЕЙСТВИИ ОБЪЕМНЫХ СИЛ*

Для комбинированной и открытой разработки месторождений, особенно для глубоких карьеров, большое экономическое значение имеет оптимальное соотношение геометрических параметров бортов карьера. Оптимальными параметрами следует считать такие, при которых соблюдается минимальный объем вскрыши и одновременно необходимый запас устойчивости откосов.

В настоящее время для определения параметров откосов бортов карьеров и оценки их устойчивости широко применяются методики ВНИМИ [1]. Эти методы учитывают только составляющие напряжений, обусловленные действием гравитационных сил. Предельную высоту откоса находят решением уравнения равновесия удерживающих и сдвигающих сил по выбранной поверхности в вертикальной плоскости. Однако они не учитывают объемно-напряженного состояния откоса.

Большинство авторов – Э.Л. Галустьян [2], О.В. Зотеев [3], В.К. Цветков [4] и др. отмечают, что решение геомеханических задач применительно к объемно-напряженному состоянию приоткосных массивов позволит пересмотреть требования к соотношению высоты и угла откоса в конкретных горнотехнических условиях.

Предлагаемая формула определения высоты устойчивого откоса борта карьера применима для откосов различного профиля и учитывает объемный фактор и действие тектонических напряжений.

Объектом исследования является изотропный массив горных пород. Для определения высоты откоса, подработанного подземными горными выработками, с заданными физико-механическими свойствами и требуемым коэффициентом запаса устойчивости рассматривается равновесие столба пород на элементарной площадке скольжения dA (рис. 1).

Согласно рис. 1 сила сцепления по площадке dA :

$c \frac{dx dz}{\cos \beta}$ и сила трения на площадке dA : $dN \cdot \operatorname{tg} \varphi$ противодействуют элементарной сдвигающей силе dT .

$$dT = c \frac{dx dz}{\cos \beta} + dN \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (1)$$

$$\text{где } dN = dT \cdot \operatorname{ctg} \beta. \quad (2)$$

* Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Челябинской области.

Касательное напряжение τ_β по линии скольжения

$$\tau_\beta = \frac{dT}{dA} = \frac{c}{(1 - \operatorname{ctg} \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi)}. \quad (3)$$

Из уравнения прямолинейной огибающей предельных кругов напряжений Мора для произвольной точки касательное напряжение запишется

$$\tau_\beta = \sigma + \sigma_\beta \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (4)$$

Приравниваем

$$c + \sigma_\beta \cdot \operatorname{tg} \varphi = \frac{c}{(1 - \operatorname{ctg} \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi)}. \quad (5)$$

Зная, что

$$\operatorname{ctg} \beta = \frac{dx}{dy}, \quad (6)$$

$$dx = \frac{dy}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (7)$$

где y – текущая координата по оси OY , м; α – угол наклона борта карьера, град.

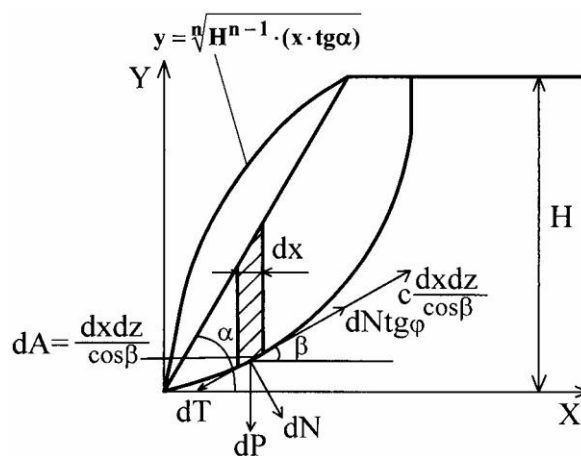


Рис. 1. Схема действия сил на элементарной площадке: H – высота откоса, м; β – угол наклона элементарной площадки линии скольжения, град; c – сцепление пород в массиве, Па; φ – угол внутреннего трения, град; P – сила тяжести, N ; N – нормальная сила, H ; T – касательная сила, H

Боковое трение, препятствующее деформациям откоса в сторону выработанного пространства (рис. 2), учтено в определении σ_β :

$$\sigma_\beta = \nu \cdot \gamma \cdot g \cdot (H - y) \cdot (1 + \operatorname{tg} \varphi), \quad (8)$$

где γ – плотность пород, кг/м³; ν – коэффициент бокового распора,

$$\nu = \frac{\mu}{1 - \mu}, \quad (9)$$

где μ – коэффициент Пуассона.

Также нельзя не учитывать влияния на устойчивость подрабатываемых бортов природных тектонических сил (T). Исследования П.И. Копача и В.К. Цветкова [4] подтверждают, что значение коэффициента запаса устойчивости зависит от действия тектонических напряжений. Поле этих напряжений неоднородно и имеет сложный характер, его составляющие по-разному влияют на устойчивость горного массива. Обычно значения тектонических напряжений изменяется в интервале от 0 до 8,8 МПа.

Следовательно,

$$\sigma_\beta = \nu \cdot \gamma \cdot g \cdot (H - y) \cdot (1 + \operatorname{tg} \varphi) + T. \quad (10)$$

Подставляя (10) в (5), получим

$$\begin{aligned} (\nu \cdot \gamma \cdot g \cdot (H - y) \cdot (1 + \operatorname{tg} \varphi) + T) \cdot \operatorname{tg} \varphi + c &= \\ &= \frac{c}{1 - \operatorname{ctg} \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi}. \end{aligned} \quad (11)$$

Возведем в квадрат обе части уравнения и, упростив, получим:

$$\begin{aligned} (\nu \cdot \gamma \cdot g \cdot (H - y) \cdot (1 + \operatorname{tg} \varphi) + T) dy &= \\ &= \frac{c \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \varphi} dy; \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \int_0^H (\nu \cdot \gamma \cdot g \cdot (H - y) \cdot (1 + \operatorname{tg} \varphi) + T) dy &= \\ &= \int_0^H \frac{c \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \varphi} dy. \end{aligned} \quad (13)$$

Проинтегрировав и упростив, получим:

$$\frac{H}{2} \cdot \nu \cdot \gamma \cdot g \cdot (1 + \operatorname{tg} \varphi) \frac{c \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}}{\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \varphi} = T. \quad (14)$$

Выразим H :

$$H = \frac{2 \cdot (c \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} - T \cdot (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \varphi))}{(\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \varphi) \cdot \nu \cdot \gamma \cdot g \cdot (1 + \operatorname{tg} \varphi)}. \quad (15)$$

С учетом углов отклонения результирующей силы всех составляющих объемного напряженного состояния

от горизонтальной (β_0) и вертикальной (γ_m) плоскостей уравнение предельной высоты откоса примет вид

$$H = \frac{2 \cdot \cos \gamma_m \cdot \cos \beta_0 \cdot (c \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} - T \cdot (\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \varphi))}{(\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \varphi) \cdot \nu \cdot \gamma \cdot g \cdot (1 + \operatorname{tg} \varphi)}, \quad (16)$$

$$\text{где } \gamma_m = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg} \beta_0}{\sin \delta}; \quad (17)$$

δ – угол отклонения результирующей боковых сил от горизонтальной плоскости, град.,

$$\delta = \operatorname{arctg} \frac{x}{z}, \quad (18)$$

где x – элементарная поперечная горизонтальная сила, Н,

$$x = -2 \cdot c \cdot \operatorname{ctg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right); \quad (19)$$

z – элементарная продольная горизонтальная сила, Н,

$$z = \nu \cdot \gamma \cdot g \cdot H_{90}, \quad (20)$$

где H_{90} – высота вертикального обнажения пород, м,

$$H_{90} = \frac{2 \cdot c \cdot \operatorname{ctg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)}{\nu \cdot \gamma \cdot g \cdot (1 + \operatorname{tg} \varphi)}, \quad (21)$$

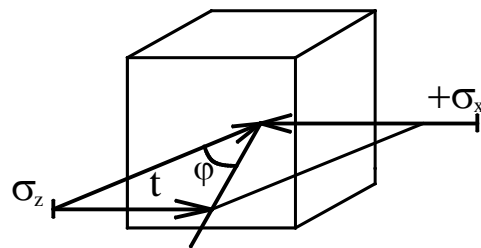


Рис. 2. Действие бокового зажима на сжимающие напряжения ($+\sigma_\beta$): $+\sigma_x$ – сжимающие поперечно-горизонтальные напряжения, МПа; σ_z – продольно-горизонтальные напряжения, МПа; t – боковое трение по площадкам элементарного объема

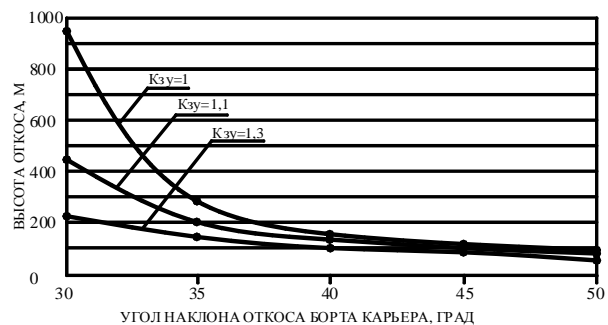


Рис. 3. Зависимость высоты устойчивого откоса подработанного борта от его угла наклона при $C=0,3$ МПа, $\varphi=28^\circ$, $\gamma=2500$ кг/м³ без учета тектонических сил

$$\beta_0 = \frac{\varphi}{2} + \arccos \frac{r}{R} - 45^\circ; \quad (22)$$

$$R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}, \quad (24)$$

где r – результирующая действия сил бокового отпора, H ,

где y – элементарная вертикальная сила, H ,

$$r = \sqrt{x^2 + z^2}; \quad (23)$$

R – результирующая действия всех сил объемного напряженного состояния массива, H ,

Зависимость высоты устойчивого откоса подработанного борта от его угла наклона

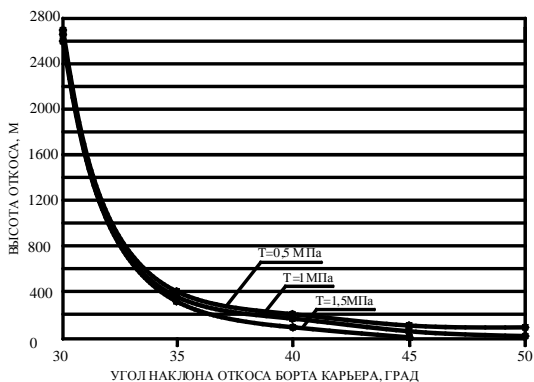


Рис. 4. Зависимость высоты устойчивого откоса подработанного борта от его угла наклона при $C=0,5$ МПа, $\varphi=29^\circ$, $\gamma=2800$ кг/м³ с учетом тектонических напряжений при $K_{су}=1$

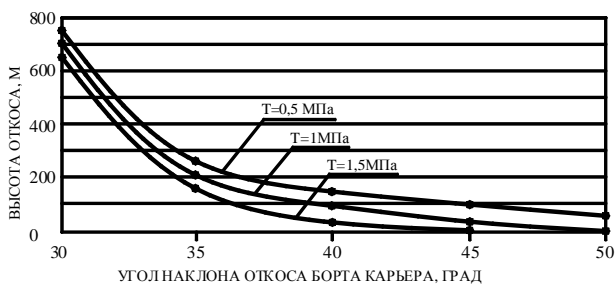


Рис. 5. Зависимость высоты устойчивого откоса подработанного борта от его угла наклона при $C=0,5$ МПа, $\varphi=29^\circ$, $\gamma=2800$ кг/м³ с учетом тектонических напряжений при $K_{су}=1,1$

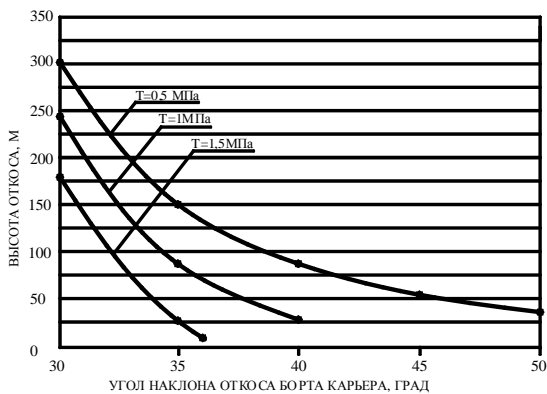


Рис. 6. Зависимость высоты устойчивого откоса подработанного борта от его угла наклона при $C=0,5$ МПа, $\varphi=29^\circ$, $\gamma=2800$ кг/м³ с учетом тектонических напряжений при $K_{су}=1,3$

Угол откоса борта α , град	Тектонические напряжения T , МПа	Сцепление, C , МПа	Плотность γ , кг/м ³	Угол внутреннего трения φ , град	Высота откоса H , м	$K_{су}$
30	0-6	0,3	2500	28	956-201	1
35	0-2				274-22	
40	0-1				160-34	
45	0-0,5				114-51	
50	0-0,5				89-26	
30	0-6	0,5	2800	29	2766-2103	
35	0-4				462-20	
40	0-2				253-32	
45	0-1,5				175-9,7	
50	0-1				134-24	
30	0-6	0,8	2900	29	4272-3633	
35	0-6				713-74	
40	0-3				391-71	
45	0-2				270-57	
50	0-1,5				208-48	
30	0-3	0,3	2500	28	440-46	
35	0-1,5				202-4,8	
40	0-1				131-0,2	
45	0-0,5				98-32	
50	0-0,5				79-13	
30	0-3	0,5	2800	29	823-478	
35	0-2				326-95	
40	0-1,5				204-31	
45	0-1				149-34	
50	0-1				118-3,3	
30	0-3	0,8	2900	29	1272-938	
35	0-3				503-169	
40	0-2				315-93	
45	0-2				230-8,2	
50	0,15				183-16	
30	0-1,5	0,3	2500	28	222-12	
35	0-0,5				136-66	
40	0-0,5				98-28	
45	0-0,5				78-7	
50	0				64	
30	0-2	0,5	2800	29	363-116	
35	0-1,5				212-26	
40	0-1				150-27	
45	0-0,5				117-55	
50	0-0,5				96-35	
30	0-2	0,8	2900	29	561-323	
35	0-2				327-89	
40	0-1,5				232-53	
45	0-1,5				181-2,1	
50	0-1				149-30	

$$y = \gamma \cdot g \cdot H_{90}. \quad (25)$$

Таким образом, для определения оптимальной высоты откоса подработанного борта карьера необходимо задаться физико-механическими свойствами пород с необходимым запасом устойчивости.

По приведенной формуле были выполнены расчеты предельной высоты откоса подработанного борта карьера с различными физико-механическими свойствами: сцепление в массиве $C=0,3-0,8$ МПа, угол внутреннего трения $\varphi=28-29^\circ$, плотность $\gamma=2500-2900$ кг/м³. Коэффициент бокового распора равен 0,3. Тектонические напряжения (T) изменяются от 0,5 до 6 МПа. Угол откоса подработанного борта карьера (α) изменялся от 30 до 50°.

По результатам расчетов построены зависимости высоты устойчивого откоса подработанного борта от его угла наклона, представленные на рис. 3–6.

По результатам всех расчетов составлена сводная таблица.

Анализ полученных расчетов высоты откоса по предложенной формуле (16) позволяет сделать вывод, что увеличение глубины карьера на 15–20% при доработке приконтурных (прибортовых) запасов подземным способом потребует выполаживания бортов карьера на 2°. С увеличением тектонических напряжений в 2 раза глубина открытых горных работ уменьшается на 21–40%.

Возможность увеличения углов погашения бортов карьера при заданной глубине и величине тектониче-

ских напряжений возможно за счет использования временной устойчивости откосов бортов. Снижение запаса прочности на 10–20% позволит отработать прибортовые запасы подземным способом.

Список литературы

1. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. СПб., 1998.
2. Галустьян Э.Л. Крупномасштабные деформации бортов карьеров в сплошных породах // Горный журнал. 1990. № 5.
3. Зотеев О.В. Геомеханика. Екатеринбург: УГГА, 1997.
4. Цветков В.К. Расчет устойчивости откосов и склонов. Волгоград: Ниж.-Волж. кн. изд-во, 1979.
5. Черчинцева Т.С., Кузнецова Т.С. Геомеханические основы прогноза объемных деформаций и устойчивости откосов горных пород: монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. 60 с.

List of literature

1. The Rules of the provision to stability escarpment on coal mining. SPb., 1998.
2. Galustiyan E.L. Large-scale deformation of flank of an opencast in utter rocks // Gornyy zhurnal. M.: Depths, 1990. 5.
3. Zoteev O.V. Geomechanics. Ekaterinburg: UGGA, 1997.
4. Tsvetkov V.K. The Calculation to stability of escarpment and declivity. Volgograd: Lower-Volzhskoe izd. 1979.
5. Cherkintseva T.S., Kuznetsova T.S. Geomechanics bases of the forecast three-dementional deformation and stability of escarpment rocks: Monografiya. Magnitogorsk: SEI of HPE «MSTU», 2007. 60p.

УДК 622.343:622.272

Мещеряков Э.Ю., Угрюмов А.Н.

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ С ОБРУШЕНИЕМ РУД И ПОРОД ПРИ ОСВОЕНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ЧЕБАЧЬЕ»

В настоящее время заканчивается строительство подземного рудника для отработки медноколчеданного месторождения «Чебачье», находящегося в Верхнеуральском районе Челябинской области. Площадь рудного поля располагается в границах сельскохозяйственных земель, южнее которых находится озеро Чебачье. С целью обеспечения сохранности наземных объектов в качестве основной системы разработки проектом принята камерная с подэтажной отбойкой и твердеющей закладкой выработанного пространства. Применение данной системы разработки определяет необходимость значительных капитальных вложений на строительство закладочного комплекса и последующих дополнительных эксплуатационных затрат, связанных с производством и возведением закладки.

В условиях существенного падения цен на рынке металлов горнодобывающее предприятие предпринимает все возможные меры по сокращению расходной части бюджета, в рамках которых и возникла идея определения области применения менее затратных систем разработки с обрушением руд и вмещающих

пород при освоении запасов месторождения.

Медноколчеданное месторождение «Чебачье» представлено несколькими рудными телами, основным (95% балансовых запасов месторождения) является рудное тело № 2. Данное рудное тело имеет форму сложной линзы, вытянутой по длинной оси на 670 м в северо-восточном направлении по азимуту 30–35° при ширине до 432 м. Проекция рудного тела в плане имеет извилистые контуры с расширенной северной половиной и постепенно сужающейся и вытянутой в юго-западном направлении южной половиной рудного тела. Длина рудного тела изменяется от 16 до 432 м, мощность – от 1,8 до 80,7 м. Падение линзы преобладает пологое, восточное от 5 до 15–20°.

Рудное тело преимущественно сложено сплошными колчеданными рудами (89%), которые по простиранию, а также вдоль западной и восточной границ и со стороны лежащего бока сменяются вкрапленными разностями.

Гидрогеологические условия разработки месторождения характеризуются, в целом, как достаточно

сложные. На месторождении установлено наличие двух гидравлически связанных водоносных горизонтов: грунтово-поровые воды толщи рыхлых отложений и образований коры выветривания; трещинные и трещинно-карстовые воды скальных вулканогенно-осадочных пород.

Водоносный комплекс рыхлых покровных отложений включает в себя глиноподобные коры выветривания, покрывающие их делювиальные отложения и озёрно-аллювиальные отложения озера «Чебачье», представленные суглинками, в различной степени песчаными глинами. Мощность покровных отложений составляет 13–85 м, средняя – 35–40 м. Комплекс рыхлых отложений характеризуется низким коэффициентами фильтрации (0,005–0,275 м/сут) и низкой водообильностью (удельный дебит 0,008–0,069 л/с). В целом покровные отложения мощностью до 40–50 м следует рассматривать как очень слабо фильтрующую среду, через которую проходит питание нижележащего водоносного комплекса. Наличие прямой гидравлической связи трещинных подземных вод месторождения с поверхностными и подрусловыми водами озера «Чебачье», расположенного в 0,2 км к югу от месторождения, гидрогеологическими исследованиями не установлено.

Массив вмещающих рудное тело пород представлен в основном породами с однородными физико-механическими свойствами, за исключением наносов. По степени трещиноватости породы являются слабо- и среднетрещиноватыми. Трещины, как правило, залечены. Лишь в зонах тектонических нарушений и внедрения жильных образований отмечается повышенная трещиноватость и обводнённость массива.

Исследования геомеханического состояния массива осуществлялись путем математического моделирования методом конечных элементов на плоской упругой модели с помощью программного комплекса «FEM» (ИГД УрО РАН). Модель построена на основе наиболее представительного продольного геологического разреза II–II. Размеры модели: высота 800 м, длина 3500 м. Используемые в модели физико-механические характеристики руды и пород, по данным геологической разведки месторождения, а также твердеющей закладки и обрушенных пород представлены в **таблице**.

В качестве граничных условий для математического моделирования были определены вертикальная и горизонтальная составляющая горного давления. Вертикальная составляющая начального поля напряжений:

$$\sigma_{\text{верт}} = H_k \gamma_n = 800 \times 0,027 = 21,6 \text{ МПа.}$$

Величина горизонтальных напряжений принята по результатам натурных замеров напряжений на ближайших к «Чебачьему» месторождениях (Учалинское, Узельгинское, Молодёжное):

$$\sigma_{\text{гориз}} = \sigma_{\text{верт}} = 21,6 \text{ МПа.}$$

Исследования напряженно-деформированного массива осуществлялись на следующих стадиях горных работ:

1) рудное тело отработано системой с закладкой выработанного пространства;

2) рудное тело отработано системой с обрушением руд и вмещающих пород. При конструировании данной модели высота зоны обрушения принималась равной трёхкратному размеру вынимаемой мощности рудного тела;

3) северная часть залежи (120 м) отработана системами с обрушением, центральная часть (230 м) – системами с закладкой, а южная часть месторождения (60 м) – в охранном целике;

4) северная часть (около 70% от обрабатываемых запасов) отработана системами с обрушением, а южная часть – системами с закладкой.

Оценка геомеханического состояния массива проводилась по максимальным нормальным напряжениям и горизонтальным деформациям по вертикальной линии, расположенной у ближайшей к рудному телу границы озера. Для объектов I категории охраны (естественные и искусственные водоёмы) относительные горизонтальные деформации растяжения–сжатия должны находиться в пределах от 0 до 3 мм/м.

Анализ распределения напряжений при выемке руд и заполнении выработанного пространства закладкой показал, что их значения в массиве составляют в пределах 1–20 МПа, выделяются зоны незначительного перераспределения напряжений в северной и южной частях залежи (**рис. 1, а**). Относительные горизонтальные деформации растяжения вблизи поверхности модели не превышают 0,5 мм/м (**рис. 2, а**).

Распределение напряжений при полной отработке залежи с обрушением руд и налегающих пород указывает на высокую вероятность выхода зоны обрушения на земную поверхность (**рис. 1, б**), также отмечается концентрация напряжений в породах почвы рудного тела (до 20 МПа). При применении систем разработки с обрушением в результате снижения сжимающих напряжений растягивающие деформации вблизи поверхности достигают 4 мм/м (**рис. 2, б**).

При отработке северной части рудного тела с обрушением руд, а центральной – с закладкой наблюдается разгрузка прикровельного массива над участками обрушенных пород и твердеющей закладки и концентрация сжимающих напряжений в породах почвы залежи со стороны ее северной части (**рис. 1, в**). Анализ горизонтальных деформаций (**рис. 2, в**) указывает на небольшие деформации растяжения вблизи поверхности озера (до 1 мм/м).

Используемые при моделировании физико-механические свойства сред

Наименование среды	Плотность, т/м ³	Угол внутреннего трения, град	Модуль упругости (×10 ⁴), МПа	Коэффициент Пуассона
Рыхлые отложения	1,5	40	0,005	0,40
Порода	2,7	35	0,120	0,30
Руда	4,2	35	0,150	0,30
Обрушенные породы	1,8	40	0,005	0,40
Твердеющая закладка	2,0	37	0,030	0,35

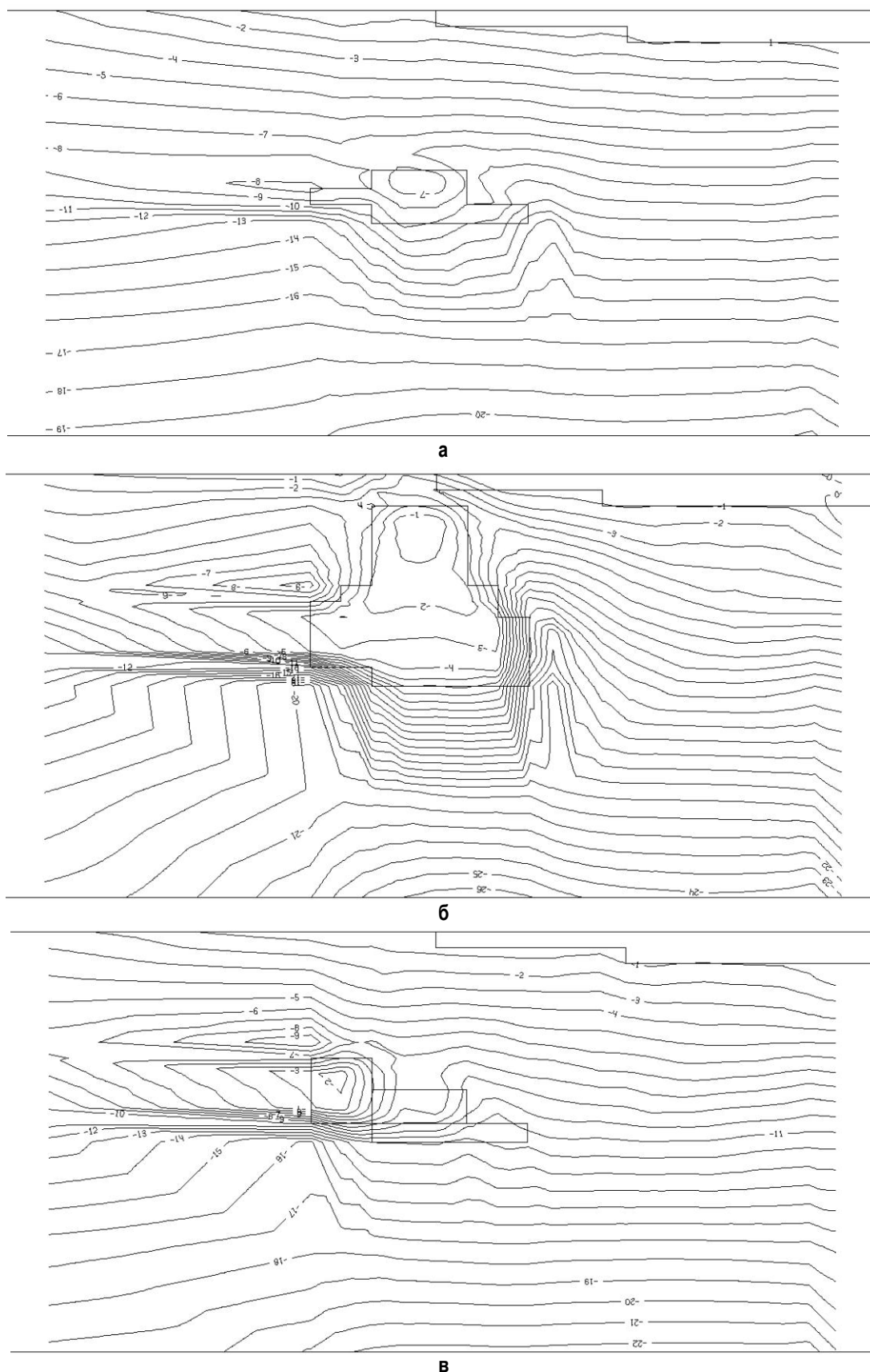


Рис. 1. Изолинии максимальных нормальных напряжений в массиве на стадиях отработки залежи: а – с закладкой; б – с обрушением; в – частично с обрушением, с закладкой и оставлением охранного целика

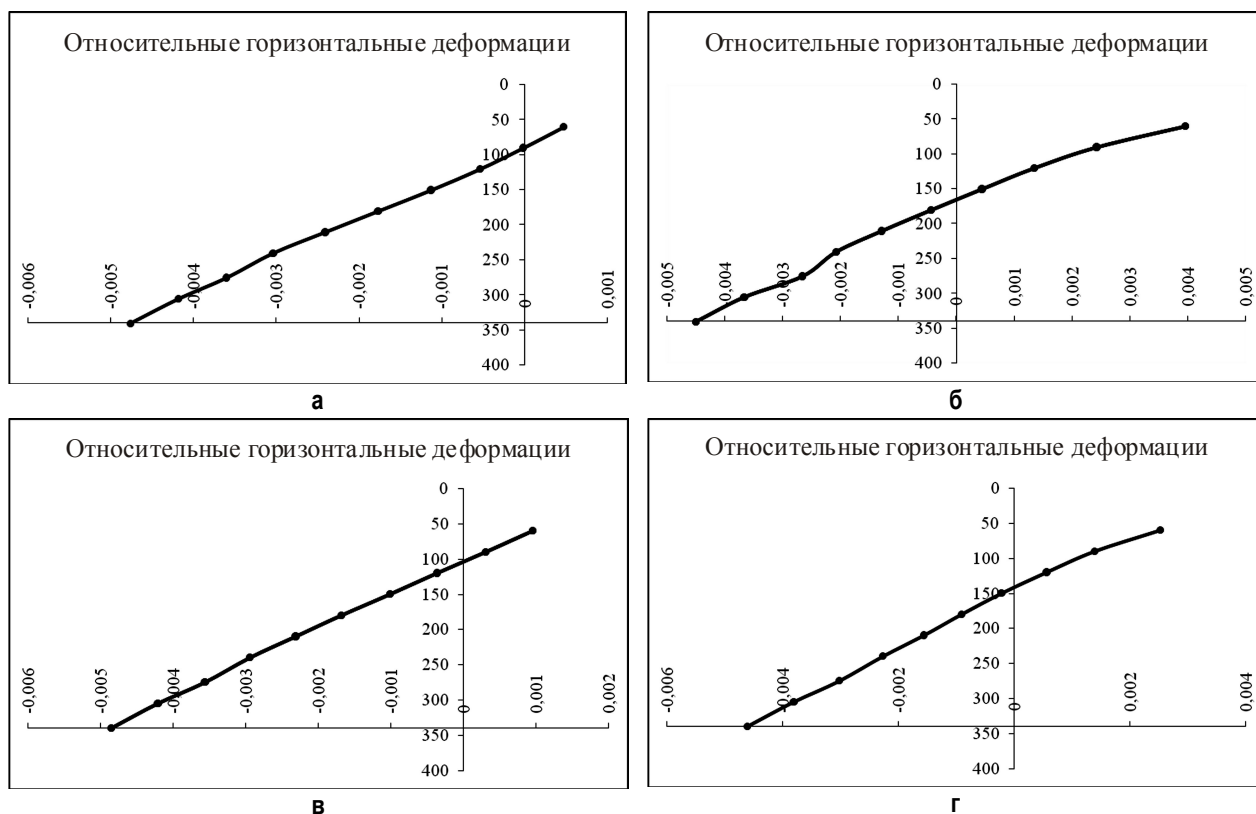


Рис. 2. Графики относительных горизонтальных деформаций по глубине массива (вертикальная ось графика)

При отработке значительной части залежи системами с обрушением, а со стороны озера – с закладкой выработанного пространства зона разгрузки от сжимающих напряжений распространяется вплоть до земной поверхности, концентрация сжимающих напряжений в породах почвы достигает 18 МПа. При этом горизонтальные деформации растяжения на поверхности превышают 2 мм/м (рис. 2, г).

Из результатов проведенных исследований геомеханического состояния массива следуют следующие выводы:

- применение систем разработки с обрушением руд

и вмещающих пород для полной отработки запасов месторождения «Чебаць» невозможно вследствие высокой вероятности выхода зоны обрушения на земную поверхность, нарушения водоупора озера и отчуждения сельскохозяйственных земель в границах рудной площади;

– сохранение подрабатываемых объектов обеспечивается при частичной отработке северного участка залежи (протяженностью 120 м) системами с обрушением руд и вмещающих пород, отработке основной части запасов системами с твердеющей закладкой и оставлении южной части вкрапленных руд в охранном целике.

УДК 622.647.003

Гибадуллин З.Р., Волков П.В.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВАРИАНТОВ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ РУДЫ ПРИ ОТРАБОТКЕ ПРИКОНТУРНЫХ ЗАПАСОВ

В отечественной практике комбинированной разработки рудных месторождений, теории и проектирования горно-технических решений оптимизации параметров и выбора горных работ известно довольно много показателей, применяемых в качестве критериев тех или иных вариантов в определении эффективности производства.

Степень изучения взаимосвязи звеньев, технологии и учитываемых факторов в огромной мере зависит от

уровня решения задач, т.е. с учетом интересов, какого уровня решается задача: добычного участка, процессов очистной выемки, рудника, комбината, подотрасли, отрасли производства.

На наиболее высоком уровне для оценки результатов горнорудной отрасли промышленности измерителем эффективности является валовая продукция (национальный доход) или чистая продукция. Применяется также показатель чистого дохода, который

представляет собой валовую продукцию за вычетом материальных затрат и расходов по оплате труда (зарплата, отчисления в соцстрах и др.).

При решении оптимизационных проектных и плановых задач горного производства используют согласно «Методические рекомендаций по оценке...»:

- Чистый дисконтированный доход (ЧДД);
- Индекс доходности (ИД);
- Внутренняя норма доходности (ВНД);
- Срок окупаемости ($T_{ок}$).

Теоретически все указанные критерии дают при расчетах одинаковые результаты [1, 2].

В качестве других показателей эффективности использования ресурсов месторождений на более низком уровне решения применяют и другие показатели, в частности себестоимость руды или концентрата с учетом их ценности, или конечную их прибыль [3].

Себестоимость продукции рудника является наиболее наглядным и эффективным показателем затрат труда. В этом случае такие факторы, как экономия сырья и материалов, износ оборудования, расход энергии и фонда заработной платы будут иметь большой вес. Вместе с тем отойдут на второй план факторы, связанные с качеством продукции, сохранность недр, экологии и др.

Более того, при решении вопросов отдельных разделов технологии обработки рудных тел и процессов подземных горных работ не изменяется качество продукции и показатели использования недр, ценность конечной продукции, а прибыль зависит от себестоимости продукции, т. е. от эксплуатационных затрат.

Анализ себестоимости добычи руды по процессам показал, что значительная часть приходится на затраты по доставке, подземному транспорту, подъему, дроблению руды и поверхностному транспорту. Расходы на перемещение руды от очистного забоя до склада руды на поверхности составляют около 45% всех эксплуатационных расходов по добыче руды.

В этой связи перемещение руды на руднике рассматривается как технологическая система – последовательность соединения элементов, их состав и структура взаимосвязи, включая выработки, средства механизации и затраты по погрузке, доставке, транспорта и подъема руды [4, 5].

Учитывая изложенное, экономическую эффективность технологической системы перемещения руды рекомендуется оценивать по сумме эксплуатационных затрат элементов системы:

$$\mathcal{E}_{\text{сист}} = \sum_{i=1}^n C_i, \quad (1)$$

где i – элементы системы; n – число элементов; C – эксплуатационные затраты элемента системы перемещения руды (себестоимость транспортирования).

В качестве примера можно привести зависимость проф. В.А. Щелканова эксплуатационных затрат на транспортировку тонны руды от забоя до обогатительной фабрики при вскрытии вертикальными стволами [6]:

$$C_{\text{в}} = C_{\text{А}} + C_{\text{Д}} + C_{\text{Г}} + C_{\text{П}} + C_{\text{Ф}}, \quad (2)$$

где $C_{\text{А}}$ – затраты на транспортирование тонны руды до рудоспуска; $C_{\text{Д}}$ – затраты на дробление тонны руды; $C_{\text{Г}}$ – затраты на транспортирование тонны руды по горизонтальным выработкам; $C_{\text{П}}$ – затраты на транспортирование по вертикальному стволу; $C_{\text{Ф}}$ – затраты на транспортирование тонны руды от ствола до обогатительной фабрики.

Эксплуатационные затраты на транспортирование элемента системы перемещения относят на единицу объема с учетом длины транспортирования [4]:

$$C_{\text{ТР}} = \frac{\mathcal{E}}{Q} \text{ руб./т}, \quad (3)$$

$$C_{\text{ТР}} = \frac{\mathcal{E}}{QL} \text{ руб./т км}, \quad (4)$$

где \mathcal{E} – годовые или сменные эксплуатационные расходы на весь объем перемещения (транспортирование) продукции, руб.; Q – годовой или сменный объем работ на перемещение продукции (руды), т; L – среднее расстояние транспортирования, км.

В эксплуатационные расходы в нашем случае входят постоянные расходы на оборудование и переменные, зависящие от объема работ:

$$\mathcal{E} = C_{\text{const}} + \kappa_3 \cdot C_{\text{пер}}, \quad (5)$$

где κ_3 – коэффициент эффективности транспортного оборудования.

В свою очередь, объем работ по перемещению руды зависит от коэффициента эффективности (κ_3) и длины транспортирования L .

Причем сумма эксплуатационных затрат элементов в качестве экономической оценки систем перемещения груза предполагает, что все они соответствуют имеющимся схемам вскрытия рассматриваемых месторождений комбинированной геотехнологией.

Таким образом, экономическую эффективность вариантов технологических схем перемещения руды рекомендуется оценивать по сумме эксплуатационных затрат элементов системы.

Список литературы

1. Методические рекомендации по оценке эффективности и инвестиционных проектов и их отбору для финансирования. 31.03.94. № 7-12/47. М., 1994.
2. Уважов Н.Л. Оценка эффективности инвестиционных проектов на основе критерия «ЧДД». 2-е изд. М.: МГУ, 2006. 128 с.
3. Шестаков В.А. Проектирование горных предприятий: учебник для вузов. 3 изд., перераб. и доп. М.: МГУ, 2003. 795 с.
4. Экономика и организация промышленного транспорта: учебник для вузов / под ред. Н.П. Журавлева, И.С. Беседина. М.: Желдориздат, 2001. 440 с.
5. Управление развитием горнодобывающего предприятия. Информационные модели и методы: монография / Гавришев С.Е., Рахмангулов А.Н., Грязнов М.В. и др. Магнитогорск: МГТУ, 2002. 245 с.
6. Щелканов В.А. Подземные горные выработки на карьерах. М.: Недра, 1982. 128 с.

The literature list

1. Methodical recommendations according to efficiency of investment projects and to their selection for financing. 31.03.94. № 7-12/47. М., 1994.
2. Uvazhov N.L. Estimation of efficiency of investment projects on the basis of criterion «ChDD». 2-nd. Izd. M.: MSMU, 2006. 128 p.
3. Shestakov V. A. Designing of the mountain enterprises: the Textbook for vuzov. 3 izd., the reslave. and dop. M.: MSMU, 2003. 795 p.
4. Economy and the organisation of industrial transport: the Textbook for High schools / under the editorship of N.P.Zhuravlyov, I.S. Besedina M: Railway Edition, 2001. 440 p.
5. Gavrishv S.E., Rahmangulov A.N., Grjaznov M. V, etc. Management of development of the mining enterprise. Information models and methods: the Monography. Magnitogorsk, Izd. MGТУ, 2002. 245 p.
6. Shchelkanov V. A. Underground mountain developments on open-cast mines. M: Bowels, 1982. 128 p.

УДК 622.731

Гмызина Н.В.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ КОНВЕРТЕРНЫХ ШЛАКОВ

Анализ литературных данных показал, что для повышения массовой доли железа в магнитном продукте, повышения полноты извлечения необходимо максимальное раскрытие сростков, которое достигается в операциях дробления и измельчения. Перспективным направлением интенсификации процесса измельчения является использование поверхностно-активных веществ. Поверхность тонкоизмельченных минеральных смесей имеет повышенную реакционную способность [1], что создает предпосылки для адсорбции реагентов на поверхности минералов. В результате этого происходит интенсификация процесса измельчения и, как следствие, повышение показателей обогащения. Теоретически наиболее полно изучен вопрос действия органических гетерополярных соединений, которые относятся к классу поверхностно-активных веществ. П.А. Ребиндером была предложена теоретическая модель [2], исходя из которой следует, что при адсорбции поверхностно-активных веществ на поверхности твердых тел снижается поверхностное натяжение на границах Т-Г или Т-Ж, что обуславливает уменьшение энергетических затрат на измельчение твердых частиц.

Исходя из свойств материала был выбран реагент – жидкое стекло. Исходная проба крупностью 2–0 мм подвергалась сухому измельчению в отсутствие реагента в течение 40 минут. В течение этого же времени измельчались навески, обработанные, при тщательном перемешивании, различными дозами растворов реагента. Для оценки роли жидкого стекла проведено измельчение с добавлением воды при тех же расходах. Далее определялся гранулометрический состав измельченных навесок. Результаты сухого измельчения конвертерных шлаков при добавлении жидкого стекла представлены в табл. 1. В табл. 2 приведены результаты ситового анализа проб, измельченных с добавлением воды.

Из результатов ситового анализа исходной пробы, проб, измельченных с добавлением жидкого стекла, а также проб, измельченных без добавления, реагента следует, что пробы, предварительно обработанные жидким стеклом, измельчаются лучше, чем с предварительной обработкой их водой. Так, при влажности материала 0,4; 0,75; 1,25 и 2,0% выход класса –2+1 мм составил соответственно 44,5; 44,0; 41,0 и 41,5% относительно выхода того же класса в исходной пробе – 47%. При тех же расходах жидкого стекла выход класса –2+1 мм составил соответственно 40,5; 40,0;

35,5 и 41,5%. Таким образом, применение раствора жидкого стекла при сухом измельчении обеспечивает снижение выхода класса –2+1 мм на 11,5% при расходе 625 г/т, что на 5,5% больше, чем при измельчении с добавлением воды, которое обеспечивает снижение выхода этого же класса только на 6% при аналогичном расходе. Полученные результаты объясняются расклинивающим действием адсорбционных слоев, фиксирующих микротрещины, и большей подвижностью материала в мельнице, так как хорошо диспергированный материал приобретает текучесть [3].

Также было изучено влияние концентрации раствора жидкого стекла при постоянном расходе на процесс измельчения. Результаты представлены в табл. 3.

Приведенные результаты показывают, что с увеличением концентрации жидкого стекла с 5 до 10% при-

Таблица 1

Результаты ситового анализа исходной пробы и проб, измельченных с добавлением жидкого стекла

Класс крупности, мм	Выход класса крупности, %, при расходе жидкого стекла, г/т				
	0	200	375	625	1000
–2+1	47,0	40,5	40,0	35,5	41,5
–1+0,5	25,0	30,0	30,5	34,0	30,0
–0,5+0,25	12,5	12,1	12,5	12,7	12,5
–0,25+0,074	14,0	12,9	12,1	12,0	11,5
–0,074+0	1,5	4,5	4,9	5,8	4,5
Итого	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Применение. Концентрация раствора жидкого стекла составляет 5%.

Таблица 2

Результаты ситового анализа исходной пробы и проб, измельченных при добавлении воды

Класс крупности, мм	Выход класса крупности, %, при различной влажности материала, %				
	0	0,4	0,75	1,25	2,0
–2+1	47,0	44,5	44,0	41,0	41,5
–1+0,5	25,0	26,7	26,5	28,9	30,0
–0,5+0,25	12,5	12,2	12,4	12,8	12,5
–0,25+0,074	14,0	13,1	13,0	12,5	14,5
–0,074+0	1,5	3,5	4,1	4,8	3,5
Итого	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

водит к снижению выхода класса -2+1 мм с 35,5–41,5% до 34,0–37,9%. Дальнейшее увеличение концентрации до 15% приводит к снижению выхода класса -2+1 мм (37,2–39,2%) по сравнению с выходом при концентрации жидкого стекла 10%. Максимальное снижение зна-

чения выхода класса -2+1 мм наблюдается при концентрации жидкого стекла 10% и расходе 625 г/т.

При крупности исследуемого материала необходимо принимать во внимание адгезионные силы. Адгезионная флокуляция, хоть и в меньшей мере, чем магнитная, но все же снижает эффективность сепарации [3]. Магнитное перемешивание материала при разрушении флоккул частично препятствует адгезионной флокуляции, однако существует метод непосредственного снижения адгезионных сил, который состоит в применении поверхностно-активных веществ – реагентов-диспергаторов, которые нейтрализуют, компенсируют и экранируют поверхностные силы электромагнитного характера, вызывающие адгезионную флокуляцию [4].

Были проведены исследования по изучению влияния жидкого стекла на показатели сухой магнитной сепарации. Результаты представлены в табл. 4.

Полученные результаты показывают, что с увеличением расхода жидкого стекла (при концентрации раствора 5%) с 200 до 625 г/т происходит увеличение выхода магнитной фракции с 14,67 до 22,29%, массовой доли железа в магнитном продукте с 48,54 до 53,80% и извлечения железа в магнитный продукт с 33,75 до 56,83%. Последующее увеличение расхода жидкого стекла до 1000 г/т ведет к снижению вышеперечисленных показателей: выхода – на 2,14%, массовой доли – на 0,21%, извлечения – на 5,66%. Аналогичное снижение показателей происходит при концентрации раствора жидкого стекла 10 и 15%.

Увеличение концентрации раствора жидкого стекла с 5 до 10% при всех его расходах 200, 375, 625, и 1000 г/т приводит к увеличению выхода магнитной фракции, массовой доли железа, извлечения железа в магнитный продукт. Однако дальнейшее увеличение концентрации до 15% приводит к снижению всех показателей. Максимальные значения технологических показателей получены при концентрации раствора жидкого стекла 10% и его расходе 625 г/т. Так, массовая доля железа составила 54,5%, извлечение в магнитный продукт – 65,04%.

Таким образом, обработка конвертерного шлака раствором жидкого стекла наряду с более полным раскрытием сростков при измельчении обеспечивает повышение технологических показателей.

Список литературы

1. Влияние добавок поверхностно-активных веществ на эффективность измельчения в шаровых мельницах / В.И. Рябой, В.А. Лукницкий, Л.Ф. Биленко, Е.В. Орлова // Обогащение руд. 1991. № 3. С. 10–12.
2. Ребиндер П.А. Поверхностно-активные вещества. М., 1961.
3. Плаксин И.Н. Новые направления глубокого обогащения тонковкрапленных железных руд. М., 1964.
4. Готтлиб А.Д. Доменный процесс. Киев: ГИТЛ, 1958.

List of literature

1. Influence of the reagents on efficiency of the grinding in ballmill / V.I. Ryaboy, V.A. Luknitsky, L.F. Bilenko, E.V. Orlova // Ore dressing. 1991. № 3. P. 10–12.
2. Rebinder P.A. Superficially-aktive materials. M., 1961.
3. plaksin I.N. New directions of the deep treatment of complex iron ore. M., 1964.
4. Gotlib A.D. Process of blast-furnace. Kiev: GITL, 1958.

Таблица 3

Влияние концентрации жидкого стекла на процесс измельчения конвертерных шлаков

Класс крупности, мм	Выход класса крупности, %, при расходе жидкого стекла, г/т					Концентрация раствора жидкого стекла, %
	0	200	375	625	1000	
-2+1	47,0	37,9	37,5	34,0	36,1	10
-1+0,5	25,0	31,5	31,0	34,0	32,8	
-0,5+0,25	12,5	13,0	13,0	13,5	13,2	
-0,25+0,074	14,0	12,5	11,0	12,5	12,7	
-0,074+0	1,5	5,1	7,5	6,0	5,2	
Итого	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
-2+1	47,0	39,2	38,0	37,2	37,9	15
-1+0,5	25,0	30,0	31,0	34,3	32,5	
-0,5+0,25	12,5	13,0	13,0	12,5	12,5	
-0,25+0,074	14,0	12,5	12,5	11,0	12,6	
-0,074+0	1,5	5,3	5,5	5,0	4,5	
Итого	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	

Таблица 4

Влияние концентрации и расхода жидкого стекла на показатели магнитного обогащения

Расход жидкого стекла, г/т	Наименование показателей обогащения	Концентрация раствора жидкого стекла, %			
		0	5	10	15
200	Выход магнитного продукта, %	14,12	14,67	16,05	13,80
	Массовая доля железа в магнитном продукте, %	48,26	48,54	48,68	48,15
	Извлечение железа в магнитный продукт, %	32,29	33,75	37,02	31,49
375	Выход магнитного продукта, %	15,50	16,72	18,46	15,59
	Массовая доля железа в магнитном продукте, %	48,18	48,76	48,82	48,21
	Извлечение железа в магнитный продукт, %	35,39	38,64	42,70	35,62
625	Выход магнитного продукта, %	12,87	22,29	25,18	18,51
	Массовая доля железа в магнитном продукте, %	47,89	53,80	54,5	49,52
	Извлечение железа в магнитный продукт, %	29,21	56,83	65,04	43,44
1000	Выход магнитного продукта, %	12,24	20,15	21,37	16,59
	Массовая доля железа в магнитном продукте, %	47,83	53,59	53,77	48,83
	Извлечение железа в магнитный продукт, %	27,75	51,17	54,45	38,39

МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

УДК 669.131.2.018.258.5

Колокольцев В.М., Столяров А.М., Молочков П.А., Потапов М.Г., Мулявко М.Н., Цыбров С.В.

ВЗАИМОСВЯЗЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА, МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СРЕДНЕХРОМИСТЫХ ЧУГУНОВ ДЛЯ СОРТОПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

Для изготовления сортопрокатных валков в настоящее время используются как низко-, средне-, так и высокохромистые сложнолегированные белые износостойкие чугуны. Белые износостойкие чугуны – сложнолегированные многокомпонентные сплавы, разнообразные по структуре и свойствам. Они представляют собой отдельную группу промышленных сплавов, при затвердевании и термической обработке которых формируется та или иная карбидная фаза и эвтектика. Именно они определяют специфические свойства белых износостойких чугунов. Данные процессы хорошо изучены в высокохромистых и низкохромистых чугунах и недостаточно для среднехромистых чугунов. Основное влияние на свойства и эксплуатационную стойкость сортопрокатных валков оказывают химический состав применяемых чугунов и технологические факторы (скорость охлаждения, температура заливки, режим термической обработки).

Для установления влияния химического состава на механические и специальные свойства среднехромистого белого износостойкого чугуна был проведен литературно-патентный поиск подобных составов и их анализ. Были выбраны составы чугунов, которые используются для отливки сортопрокатных валков. Содержание основных легирующих элементов в этих чугунах находилось в следующих пределах %: 2,60–3,50 С, 0,10–1,60 Si, 0,38–1,55 Mn, 4,02–14,0 Cr, 0,5–4,0 Ni. В некоторых из них присутствовали дополнительные легирующие элементы (медь, молибден и титан) в количестве не более 0,5%. Количество дополнительно легированных сплавов было таковым, что адекватно оценить влияние вышеуказанных элементов на свойства чугунов не представлялось возможным. Поэтому изучили только влияние основных легирующих элементов, хотя и такое малое содержание дополнительных легирующих элементов может существенно влиять на структуру и свойства среднехромистых чугунов. Влияние легирующих элементов на свойства показаны на рис. 1–17.

Влияние углерода на твердость, прочность и износостойкость показано на рис. 1–3. Углерод является главным регулятором количества карбидов, так как он действует сильнее хрома почти в 20 раз. Столь широкие пределы изменения концентрации углерода именно и связаны с необходимостью получения в структуре определенного количества карбидов. В данных чугунах зависимость прочности и износостойкости от

содержания углерода носит экстремальный характер с максимумом 2,5%. При большем содержании углерода прочность и износостойкость снижаются, что свя-

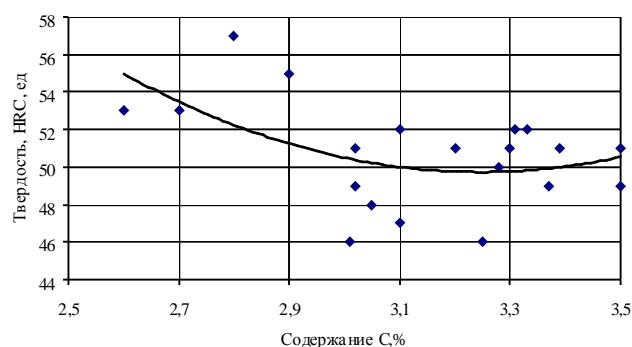


Рис. 1. Влияние содержания углерода на твердость среднехромистых чугунов

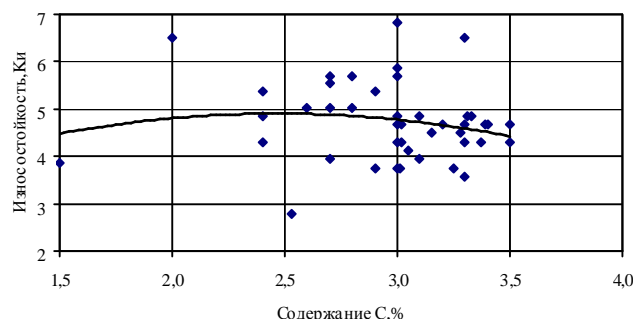


Рис. 2. Влияние содержания углерода на износостойкость среднехромистых чугунов

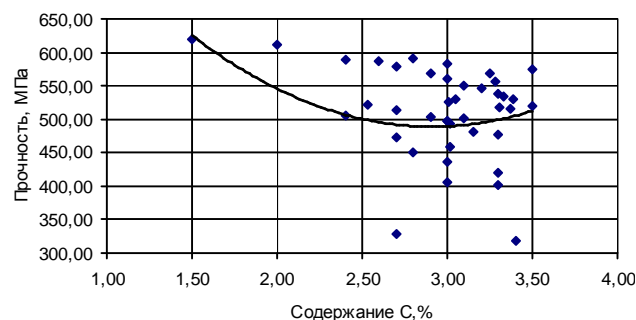


Рис. 3. Влияние содержания углерода на прочность среднехромистых чугунов

зано с выделением заэвтектических первичных карбидов, а также карбидов типа $(Fe, Cr)_{23}C_6$, которые оказывают большее влияние на прочность и износостойкость, чем на твердость.

Кремний в белых чугунах (см. рис. 4-6) можно рассматривать как легирующий элемент, распределяющийся при кристаллизации между аустенитом и эвтектическим расплавом. Его содержание в пределах от 0,9 до 2% повышает температуру эвтектической кристаллизации, расширяет интервал эвтектического превращения, препятствует переохлаждению, уменьшает влияние скорости охлаждения. Это приводит к остано-

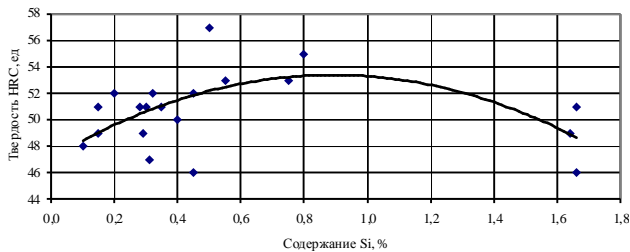


Рис. 4. Влияние содержания кремния на твердость среднехромистых чугунов

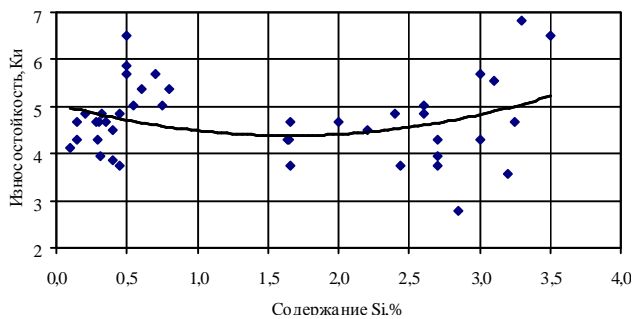


Рис. 5. Влияние содержания кремния на износостойкость среднехромистых чугунов

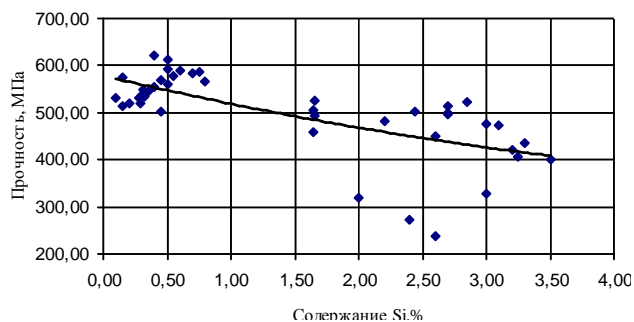


Рис. 6. Влияние содержания кремния на прочность среднехромистых чугунов

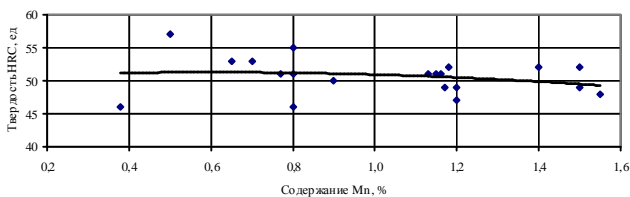


Рис. 7. Влияние содержания марганца на твердость среднехромистых чугунов

ке роста всех свойств и некоторому их снижению.

Влияние марганца и никеля на твердость и износостойкость показано на рис. 7-12. Марганец, так же как и никель, стабилизирует аустенит во всех температурных зонах превращения. С увеличением количества марганца и никеля в пределах от 0,6 до 2,5% углерод перераспределяется между аустенитом и эвтектическим распла-

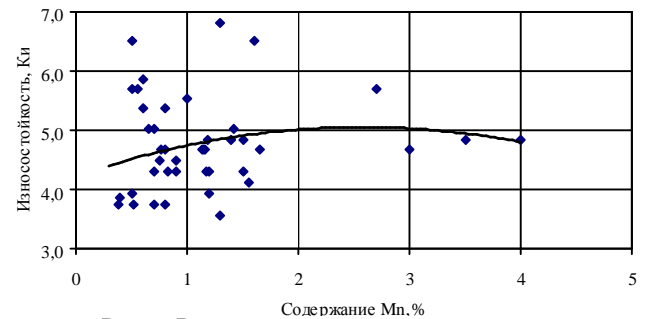


Рис. 8. Влияние содержания марганца на износостойкость среднехромистых чугунов

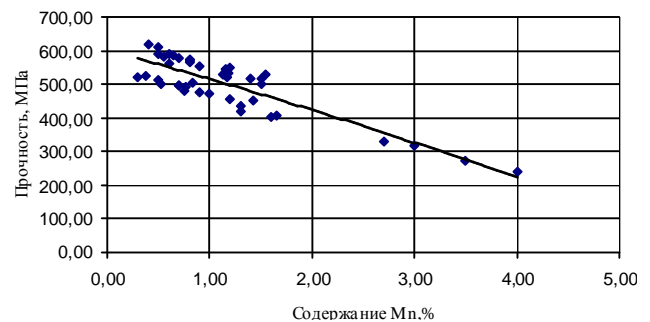


Рис. 9. Влияние содержания марганца на прочности среднехромистых чугунов

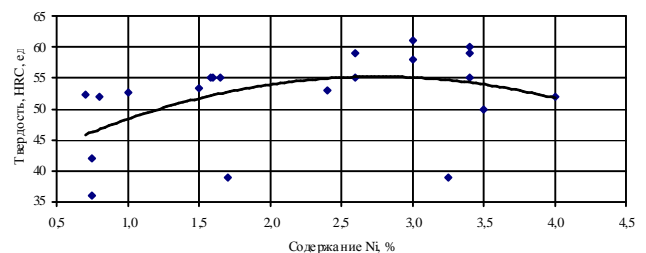


Рис. 10. Влияние содержания никеля на твердость среднехромистых чугунов

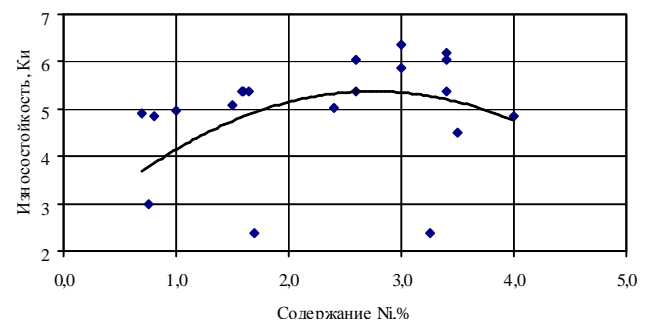


Рис. 11. Влияние содержания никеля на износостойкость среднехромистых чугунов

вом и его концентрация в аустените существенно возрастает. При этом существенно снижается количество карбидов и возрастает доля остаточного аустенита, что приводит к уменьшению твердости. При уменьшении твердости в белых чугунах, легированных марганцем и никелем, увеличивается пластичность и вязкость, это приводит к увеличению износостойкости при пластической деформации рабочего слоя и прочности.

Влияние хрома на твердость, прочности и износостойкость показано на рис. 13–15. Хром в пределах от 3 до 9% в изучаемом сплаве увеличивает $K_{и}$ и HRC за счет увеличения количества карбидов $(Fe,Cr)_7C_3$ и уменьшения карбидов Fe_3C . С дальнейшим увеличением содержания хрома металлическая матрица обедняется углеродом, что приводит к снижению твердости и износостойкости и повышению прочности.

При анализе влияния механических свойств на износостойкость белых чугунов выявилась весьма характерная особенность: одной механической характеристике всегда соответствует несколько значений износостойкости. Это говорит о том, что ни одна из этих характеристик не может быть критерием оценки

абразивной износостойкости хромистых чугунов.

По всей видимости, каждая характеристика вносит свой вклад в величину сопротивления износу, и чтобы судить косвенно о роли каждой характеристики, был проведен анализ парных взаимосвязей.

Взаимосвязь предела прочности и твердости с износостойкостью интересна тем, что это две прочностные характеристики из одной группы.

Однако вклад их в величину сопротивления износу различен и более ощутим при их взаимном влиянии. При низких значениях твердости высокая износостойкость достигается с увеличением прочности и наоборот.

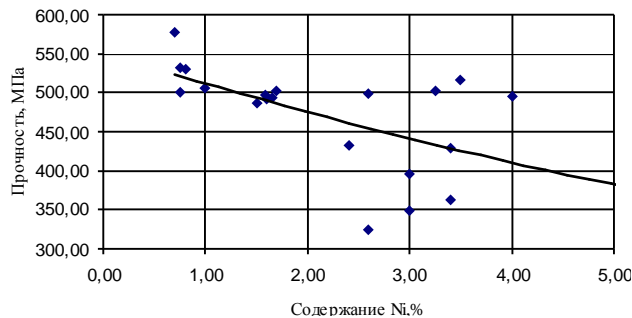


Рис. 12. Влияние содержания никеля на прочность среднехромистых чугунов

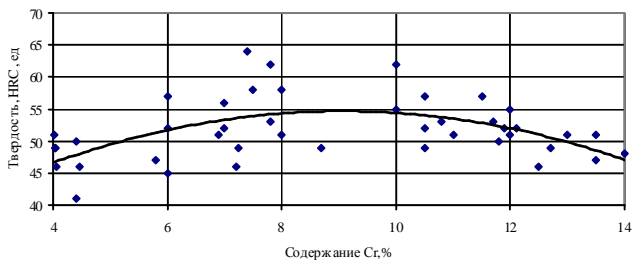


Рис. 13. Влияние содержания хрома на твердость среднехромистых чугунов

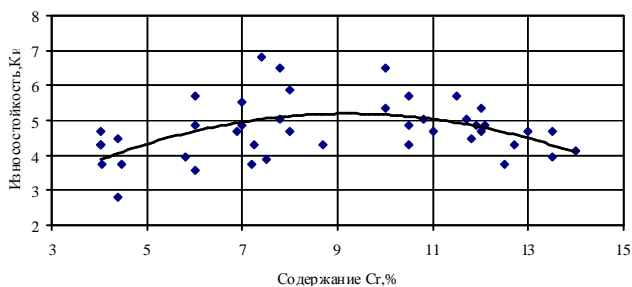


Рис. 14. Влияние содержания хрома на износостойкость среднехромистых чугунов

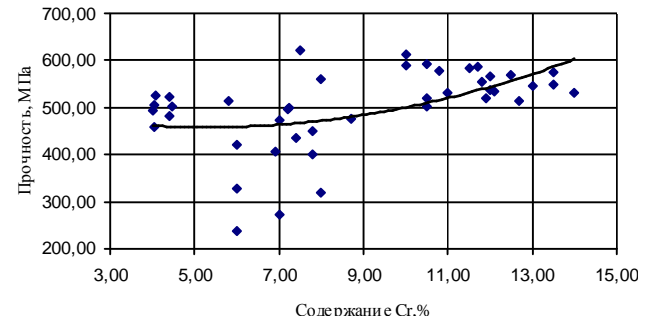


Рис. 15. Влияние содержания хрома на прочность среднехромистых чугунов

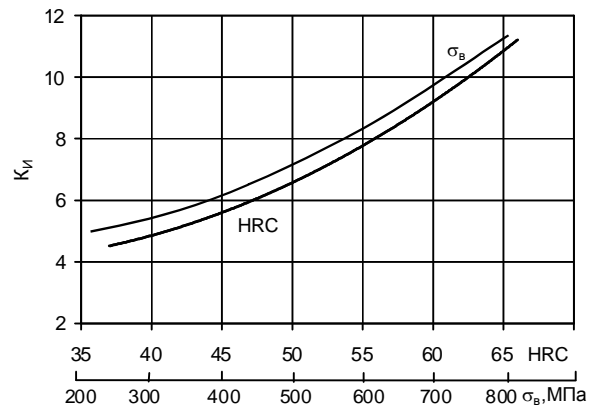


Рис. 16. Зависимость износостойкости чугунов от твердости и прочности

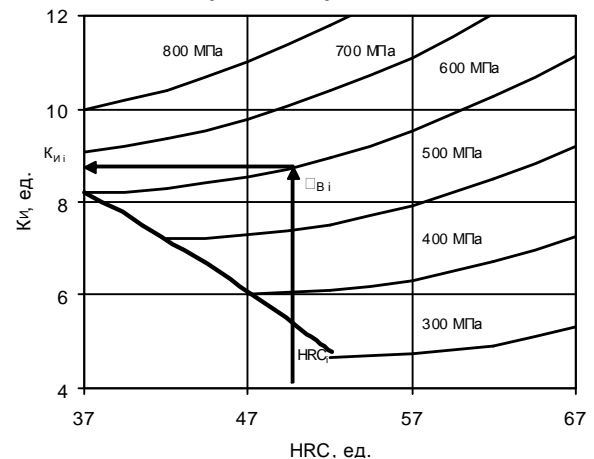


Рис. 17. Номограмма для определения износостойкости чугунов с учетом их прочности и твердости

Методом множественного регрессионного анализа получена адекватная зависимость износостойкости от прочности и твердости:

$$K_{\text{И}} = 14,857 - 0,444 \text{ HRC} + 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ HRC}^2 - 4 \cdot 10^{-3};$$

$$\sigma_{\text{В}} - 5 \cdot 10^{-6} \sigma_{\text{В}}^2 + 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ HRC} \cdot \sigma_{\text{В}}, \text{ ед.} \quad (1)$$

($F_{\text{расч}} = 106$, $F_{\text{табл}} = 1,3$).

Исходя из данного заключения, оценкой износостойкости высокохромистых чугунов может служить произведение твердости и прочности $\text{HRC} \cdot \sigma_{\text{В}}$ (1).

Данное предположение было реализовано в виде номограммы (рис. 17), которая позволяет оценивать износостойкость чугунов по прочности и твердости.

Согласно номограмме при постоянстве одного из свойств повышения износостойкости можно достичь, увеличивая либо прочность, либо твердость. В этой связи перспективными будут методы поверхностного упрочнения отливок, обеспечивающие высокую твердость и прочность приповерхностного слоя, который и подвергается интенсивному абразивному изнашиванию.

Безусловно, такая номограмма не учитывает ряда частных особенностей изнашивания. Фактически схема взаимодействия абразивной частицы с литой поверхностью отливки значительно сложнее. В связи с этим, одним из важных факторов, влияющих на процесс разру-

шения белых чугунов под действием абразивных частиц, является соотношение твердостей чугуна и абразива.

Для получения высоких механических свойств и износостойкости в отливках из среднехромистого чугуна содержание химических элементов должно быть в следующих пределах %: 2,50–3,0 С, < 0,8 Si, 0,5–1,0 Mn, 8,0–10,0 Cr, 2,5–3,0 Ni.

Список литературы

1. Прокатные валки / К.Н. Вдовин, Р.Х. Гималетдинов, В.М. Колокольцев, С.В. Цыбров. Магнитогорск: МГТУ, 2005. 543 с.
2. Абразивная износостойкость литых сталей и чугунов / В.М. Колокольцев, В.В. Бахметьев, В.Н. Вдовин, В.А. Куц М., 1997. 148 с.
3. Брялин М.Ф., Колокольцев В.М., Гольцов А.С. Повышение эксплуатационных свойств отливок из жароизносостойких хромомарганцевых чугунов // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2007. № 4. С. 22–25.

List of literature

1. Rolling rolls / K.N. Vdovin, R.H. Gimaltdinov, V.M. Kolokoltsev, S.V. Tsybrov. Magnitogorsk: MSTU, 2005. 543 p.
2. Abrasive resistance of cast steel and iron / V.M. Kolokoltsev, K.N. Vdovin, V.V. Bahmetev, V.A. Kuts. M., 1997. 148 p.
3. Bryalin M.F., Kolokoltsev V.M., Goltsov A.S. The increase of running ability of cast products made of heat and wear resistant chromomanganese cast iron // Vestnik MSTU named after G.I. Nosov. 2007. № 4. P. 22–25.

УДК 621.745.35

Ячиков И.М., Портнова И.В., Харченко О.А.

ХАРАКТЕР ЭЛЕКТРОВИХРЕВОГО ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА В ВАННЕ ДППТ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПОЛОЖЕНИЯ КАТОДА

В последние годы появляются новые способы перемешивания металла в дуговых печах постоянного тока (ДППТ) с использованием управляемых электровихревых течений (ЭВТ). Это энергосберегающие технологии, среди которых можно выделить две важные российские разработки:

– ДППТ с одним осевым катодом и двумя асимметрично расположенными подовыми электродами [1];

– ДППТ с двумя асимметрично расположенными сводовыми катодами и одним подовым электродом [2].

В работе [3] рассмотрены результаты экспериментального исследования характера ЭВТ металла в ванне ДППТ с двумя подовыми электродами при равенстве токов, протекающих через них. В данной работе ставилась задача определения характера ЭВТ металла в ванне ДППТ при изменении положения катода при одном и двух подовых электродах.

Изучение ЭВТ со смещением катода относительно оси симметрии ванны проводилось на двух модельных ваннах по той же методике, что и в работе [3]. При проведении экспериментов к силовому источнику подключались один или два подовых электрода диаметром 16 мм, оси которых располагались на расстоянии 40 мм от оси симметрии ванны. Причем один из электродов имел координату $\varphi_1 = 0^\circ$, второй – $\varphi_2 = 90^\circ$.

В качестве катода использовался медный стержень диаметром 8 мм, закрепленный на медном держателе,

который можно было перемещать по радиусу ванны и вдоль ее оси. Верхний электрод погружался в расплав на глубину 1–2 мм для обеспечения надежного электрического контакта с металлом. После расплавления олова на верхний и подовые электроды подавался ток от силового источника питания с напряжением холостого хода $U = 5$ В, причем при подключении одного анода ток через расплав составлял примерно 800 А, а при подключении двух анодов токи через них были примерно одинаковыми ($I_1 \approx I_2 = 600$ А).

Экспериментально определялся характер ЭВТ для следующих вариантов расположения электродов:

1) ось катода совпадает с осью ванны ($r = 0$ мм – расстояние от оси ванны); два подовых электрода;

2) ось катода смещена от оси ванны ($r = 80$ мм, $\varphi = 225^\circ$); два подовых электрода;

3) ось катода совпадает с осью ванны ($r = 0$ мм); один подовый электрод;

4) ось катода смещена от оси ванны ($r = 80$ мм, $\varphi = 180^\circ$); один подовый электрод.

Характер ЭВТ расплава, возникающих на поверхности ванны, для этих вариантов показан на рис. 1.

Для всех рассмотренных вариантов можно отметить, что самое интенсивное движение металла наблюдалось над подовыми электродами и под катодом. При этом минимальная скорость движения расплава

была у боковых стен ванны, а максимальная – на оси ванны и в районах размещения электродов.

Структура потоков для первых двух случаев была симметрична относительно вертикальной плоскости $\varphi = 45^\circ$ (225°) (рис. 1, а, б), для третьего и четвертого – относительно вертикальной плоскости $\varphi = 0^\circ$ (180°) (рис. 1, в, г).

В первом случае наиболее интенсивное движение по поверхности ванны наблюдалось внутри двугранного угла, образованного плоскостями, проходящими через оси ванны и подовых электродов (см. рис. 1, а). Во втором случае наибольшая скорость течения расплава фиксировалась снаружи двугранного угла, образованного плоскостями, проходящими через оси ванны и подовых электродов (см. рис. 1, б). Выяснено, что скорость течения расплава в меридиональной плоскости зависит от угла φ .

В третьем случае почти по всей свободной поверхности движение расплава осуществляется к центру ванны, где наблюдается его втягивание под катод, и лишь в зоне расположения анода отмечается выход металла на поверхность (см. рис. 1, в). Для четвертого

случая наиболее заметные течения фиксировались в местах установки катода, в области расположения анода и по оси $\varphi=0^\circ$ (180°) в сторону катода. Слабое движение отмечалось около стенок ванны.

Течение, наблюдаемое в меридиональной плоскости, проходящей через оси электродов, показано на рис. 2. При экспериментальном изучении движения расплава в меридиональной плоскости $\varphi=0^\circ$ (180°) ток подводился к одному подовому электроду. Необходимо отметить, что самые интенсивные струйные течения возникают вблизи торцевых поверхностей электродов. Они имеют вид двух пар вихрей разнонаправленной циркуляции. Расплавы, увлекаемые этими струями, движется вдоль оси ванны под катодом и вдоль параллельной оси ванны от поверхности анодов за счет осевой составляющей объемных электромагнитных сил. При достижении противоположной поверхности ванны потоки растекаются к ее боковым стенкам или к оси ванны и затем вновь набегает на поверхности электродов.

Обнаружено, что в меридиональной плоскости можно наблюдать застойные зоны, которые сущест-

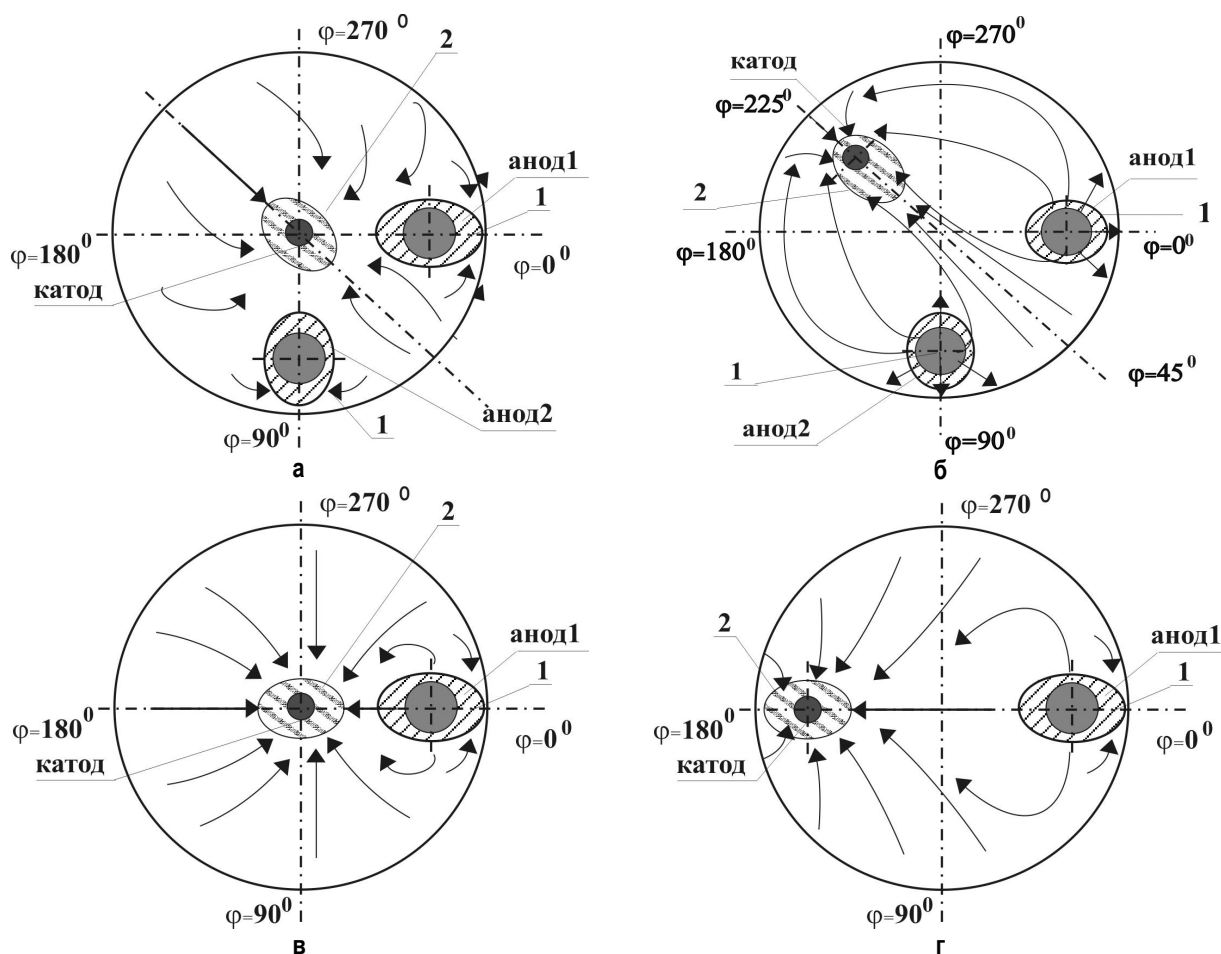


Рис. 1. Характер течения расплава на свободной поверхности при расположении электродов: а – 1 вариант; б – 2 вариант; в – 3 вариант; г – 4 вариант; 1 – область всплытия расплава на поверхность; 2 – область втягивания расплава вглубь ванны

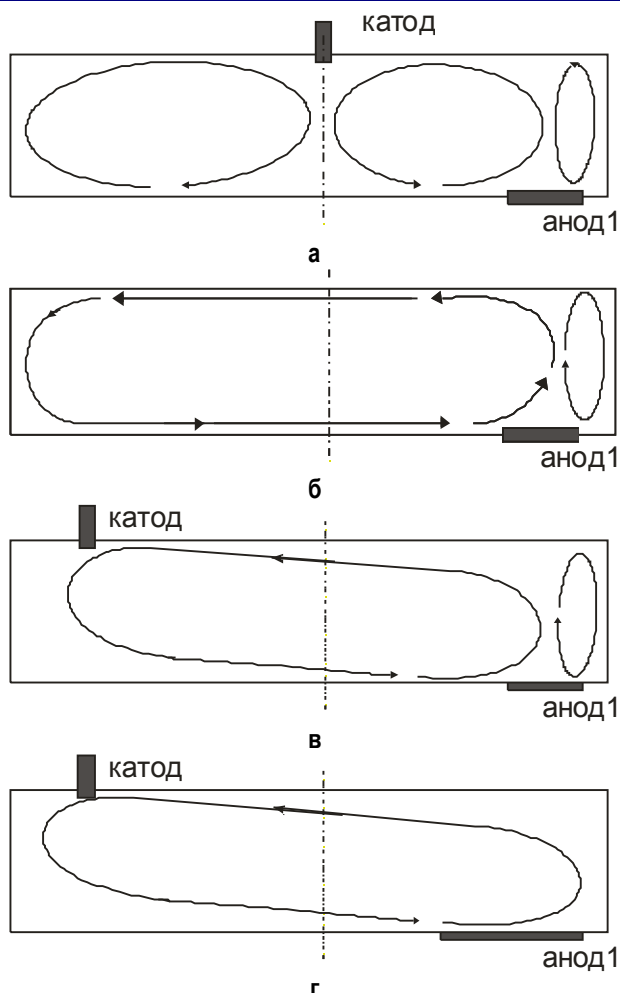


Рис. 2. Схема течения расплава в меридиональной плоскости $\varphi=0^\circ$ (180°) при разном расположении электродов: а – 1 и 3 варианты; б – 2 вариант; в, г – 4 вариант

венно выражены при значительном смещении катода от оси ванны. Если диаметры анода и катода равны ($d_a \approx d_k$), расплав движется вдоль осей анода и катода, при этом происходит образование двух разнонаправленных замкнутых потоков между катодом и анодом и анодом и боковой стенкой ванны (рис. 2, в). При подключении анода большего диаметра ($d_a \gg d_k$), как и в предыдущем случае, расплав движется вдоль осей электродов от анода к катоду, но наблюдается один замкнутый контур (рис. 2, г).

Выводы. Посредством физического моделирования исследован характер электровихревого течения расплава на свободной поверхности ванны и в меридиональной плоскости (проходящей через ось ванны и ось подового электрода) ДППТ при изменении положения катода с одним и двумя подовыми электродами при прохождении через них одинаковых токов.

При установке одного асимметрично расположенного электрода возникают интенсивные течения в области, расположенной между электродами, однако при этом наблюдаются и слабо перемешивающиеся зоны в областях, удаленных от осей ванны и подового электрода. При размещении двух АРПЭ в движение вовлекаются большие объемы ванны, размеры застойных зон уменьшаются, что приводит к лучшему перемешиванию металлургической ванны.

Установлено, что характер ЭВТ в значительной степени зависит от места установки катода и количества подовых электродов. Получено, что при значительном смещении катода от оси симметрии ванны распределение ОЭМС происходит по всей меридиональной плоскости как при подключении одного анода, так и двух. Наличие двух подовых электродов позволяет минимизировать застойные зоны и улучшить условия перемешивания расплава. При смещении катода от оси ванны величина ОЭМС значительно меньше, чем при его размещении по оси ванны. Но для переноса результатов на реальную печь требуются дополнительные исследования для определения оптимального расположения катода для предотвращения избыточного излучения на боковые стенки печи.

Список литературы

1. Пат. 2104450 РФ, МКИ⁷ F27B 3/08, C22B 9/21. Способ электроплавки и дуговая печь для его осуществления / В.С. Малиновский (РФ).
2. Пат. 2190815 РФ, МКИ⁷ F27 D 3/08, C21C 5/52. Дуговая сталеплавильная печь постоянного тока / А.Н. Макаров, Р.А. Макаров (РФ).
3. Ячиков И.М., Портнова И.В. Характер течения металла в ванне ДППТ с двумя подовыми электродами // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2008. № 3(23). С. 67–69.

List of literature

1. Pat. RU 2104450, МКИ⁷ F27B 3/08, C22B 9/21.
2. Pat. RU 2190815 МКИ⁷ F27 D 3/08, C21C 5/52.
3. Jachicov I.M., Portnova I.V. Steel flow pattern of liquid melt at DC arc furnace with two bottom electrodes // Vestnik MSTU named after G.I. Nosov. 2008. № 3(23). P. 67–69.

УДК 621.74.047:621.777.07

Горохов Ю.В., Солопко И.В., Константинов И.Л.

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ-ПРЕССОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ

Промышленное использование процессов совмещенного литья-прокатки по сравнению с раздельным

литьем и горячей прокаткой алюминиевых слитков обеспечивает на 1 т проката снижения энергозатрат на

300–400 кВт·ч, экономию 15–20 кг алюминия, сокращения удельных капиталовложений в 3–4 раза, трудозатрат в 2–3 раза. Благодаря этим достоинствам методы литья-прокатки в настоящее время являются основными при производстве проката из цветных металлов.

Большой экономический эффект дает использование совмещенного процесса литья и непрерывного прессования металлов в связи с уменьшением энергозатрат, трудоемкости, производственной площади, простоте и гибкости рабочих операций.

В конце прошлого века фирмой Alform Alloys разработан и запатентован совмещенный способ литья и непрерывного прессования. Машина такой конструкции (рис. 1) оснащена системой подачи жидкого металла и разъемным корпусом 1, кольцевой вставкой 2 большего размера по сравнению с установками непрерывного прессования Конформ, которая охватывает всю нижнюю половину колеса 3. Расплав из миксера через литейную насадку 4 попадает в канавку 5 охлаждающегося колеса машины. Быстрое охлаждение металла позволяет получить литую заготовку без ликвации и мелким зерном, что дает высокую пластичность. По мере вращения колеса происходит накопление затвердевшей части металла 6 перед матрицей 7 и его прессование. Этот способ получил название Кастекс и позволяет получать пресс-изделия с производительностью до 6 т/ч.

Способ непрерывного литья-прессования Конформ-Кастекс заключается в непрерывной заливке жидкого алюминия в канавку колеса, в которой происходит его кристаллизация и охлаждение до температуры 450–500°C, приемлемой для осуществления экструдирования алюминиевых сплавов по обычной технологии прессования способом Конформ. Кристаллизация обеспечивается благодаря специальной конструкции водоохлаждаемого инструмента, при

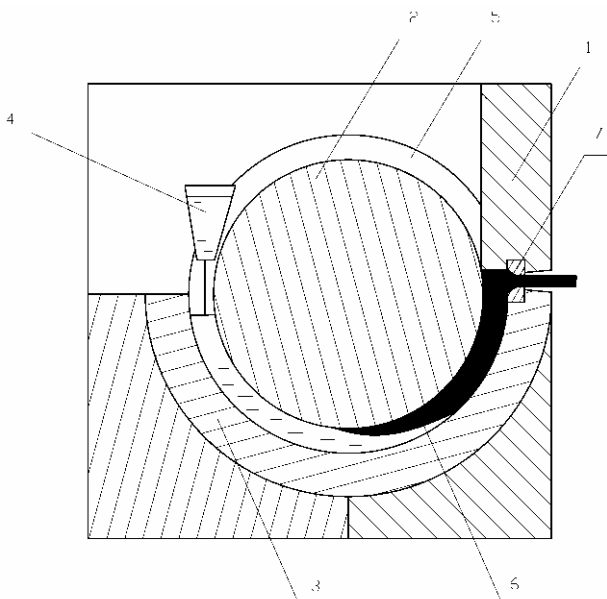


Рис. 1. Устройство для непрерывного литья-прессования (Кастекс)

этом должны соблюдаться следующие требования: в начальной стадии прессования металл у поверхности башмака должен находиться в жидкой фазе; процесс должен быть стационарным; движение металла в канавке должно быть ламинарным, в противном случае в центральные слои могут попасть окислы, пузыри и т.д., что влечет за собой появление дефектов. Из всех других способов непрерывного прессования способ Кастекс является самым экономичным [1].

Однако технических данных об этой установке, практических результатов эксплуатации в технической литературе не приводится. Это связано с определенными трудностями в осуществлении и поддержании стабильного, устойчивого процесса непрерывной кристаллизации жидкого металла и его прессования.

Технологический процесс непрерывного литья-прессования металлов позволяет совместить непрерывную разливку жидкого металла, его кристаллизацию и создание площади контакта затвердевшего металла с калибром, обеспечивающую величину сил контактного трения, необходимую для прессования металла. При этом должно соблюдаться условие полной проработки затвердевшего металла по поперечному сечению контейнера в деформационной зоне. Исходя из вышеизложенного, расчеты геометрических размеров кольцевой канавки и протяженности ее охвата неподвижной вставкой проводится в следующей последовательности:

- определяются оптимальные размеры поперечного сечения кольцевого зазора между калибром колеса и вставкой, обеспечивающие полную проработку металла по высоте и ширине калибра в деформационной зоне;
- рассчитывается протяженность участка кристаллизации жидкого металла;
- рассчитывается протяженность участка для создания сил контактного трения затвердевшей части заготовки с поверхностью канавки колеса, достаточных для прессования металла в матрицу.

Для проведения опытов по характеру течения металла в деформационной зоне на первом этапе проектирования необходимо задать размеры поперечного сечения контейнера (кольцевого зазора между канавкой колеса и неподвижной вставкой). Размеры устанавливаются исходя из соотношения ширины и высоты сечения контейнера, при котором поперечное сечение затвердевшей заготовки будет полностью охвачено сдвиговыми деформациями, что обеспечит получение качественного пресс-изделия с минимальными энергозатратами (рис. 2).

Для расчетов поперечного сечения контейнера воспользуемся уравнением, полученным на основе вариационного принципа возможных изменений деформированного состояния металла при скручивании заготовки в контейнере [2]:

$$hR_2 \frac{2 \ln(R_1/R_2) + 1}{(R_1 - R_2)^2} - 2f \frac{R_1 + R_2}{R_1 - R_2} = 0, \quad (1)$$

где R_1 – радиус ручья по поверхности вставки, мм; R_2 – варьируемый параметр, $R_0 \leq R_2 \leq R_1$, мм; R_0 – радиус колеса по дну калибра, мм; f – коэффициент трения; h – высота сечения кольцевой канавки между вставкой и калибром колеса, мм; b – ширина канавки, мм.

Уравнение (1) решается путем подстановки выбранных конструктивно значений R_1 и b при фиксированной величине размера R_0 и коэффициента трения f . Варьируя возможные значения параметра R_2 , находим такое его значение, при котором равенство (1) выполняется строго. Далее рассчитываем показатель, характеризующий размеры кольцевой канавки (деформационной зоны) $\frac{b}{R_1 - R_0}$, и определяем ее вы-

соту, обеспечивающую полную проработку металла при прочих заданных параметрах.

Решение уравнения (1) проводили по стандартной программе MathCad на ЭВМ, задавая следующие значения его членов: $R_1 = 45$ мм; $b = 7$ мм; $f = 0,4$.

В результате получили оптимальные размеры поперечного сечения кольцевой канавки: $b = 7$ мм; $h = R_1 - R_0 = 6$ мм.

Реализация процесса непрерывного литья-прессования достигается путем подачи в кольцевой зазор между канавкой колеса и вставкой жидкого металла. Поэтому, по сравнению с прессованием монолитной заготовки, зона неполного ее контакта с инструментом отсутствует. Место этой зоны занимает участок, на котором происходит остывание металла от температуры заливки до температуры кристаллизации (солидуса). Протяженность этого участка можно определить, исходя из времени кристаллизации металла и скорости движения колеса.

Для этой цели в работе [3] проведены теоретические расчеты тепловых режимов затвердевания алюминия в кольцевой канавке сечением $h \times b$ в декартовой системе координат (рис. 3). В результате получены аналитические и графические зависимости времени кристаллизации металла от геометрических и технологических параметров прессования. Математический аппарат вычислений включает решение девяти уравнений теплопроводности. Для предварительных расчетов протяженности зоны кристаллизации алюминиевого сплава АД31 в канавке с размерами поперечного сечения 6×7 мм, являющимися оптимальными для лабораторной установки, целесообразно воспользоваться уравнением регрессии, приведенном в литературе [3]. Данное уравнение, полученное в результате проведения полного факторного эксперимента 2^4 для сплава АД31, имеет вид

$$\tau = 0,937b_1 + 0,182t_k - 726(1 + 1,32b_1)/t_{sf} + 0,002\alpha(1 - b_1) - 4,1, \quad (2)$$

где $b_1 = \frac{(b+h)}{2}$ – усредненное значение высоты и ширины канавки, мм; t_k – температура инструмента в момент заливки, °C; t_{sf} – температура затвердевания жидкого

металла, °C; α – коэффициент теплообмена, Вт/м² К.

Исходя из конструктивных размеров лабораторной установки Конформ и охлаждения рабочего инструмента водой, подставим в уравнение (2) следующие значения параметров: $b_1 = 6,5$ мм; $t_k = 150$ °C; $\alpha = 580$ Вт/м²К; $t_{sf} = 650$ °C.

В результате время кристаллизации жидкого алюминиевого сплава АД31 в кольцевой канавке составит $\tau = 12,21$ с.

При величине диаметра колеса по оси кольцевой канавки 84,5 мм и частоте его вращения 2 мин⁻¹ протяженность участка кристаллизации металла определится по уравнению

$$L_{кр} = \pi D_k n \tau / 60 \quad 3,14 \cdot 84,5 \cdot 2 \cdot 12,21 / 60 = 108 \text{ мм},$$

где D_k – диаметр колеса по продольной оси канавки,

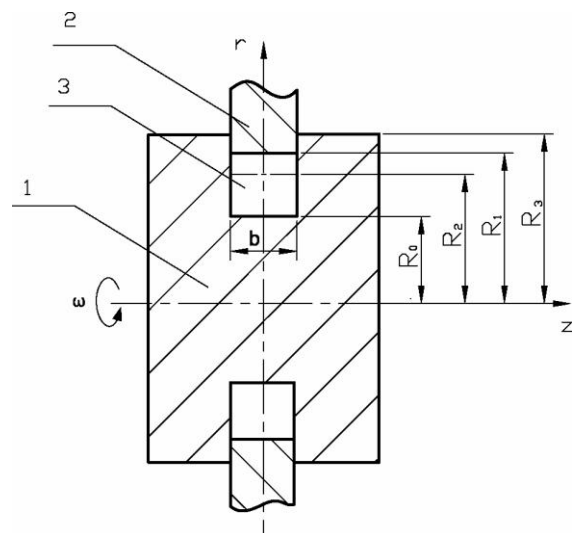


Рис. 2. Схема к расчету параметров сечения контейнера установки Конформ, образованного канавкой колеса и вставкой: 1 – приводное колесо; 2 – неподвижная вставка; 3 – контейнер

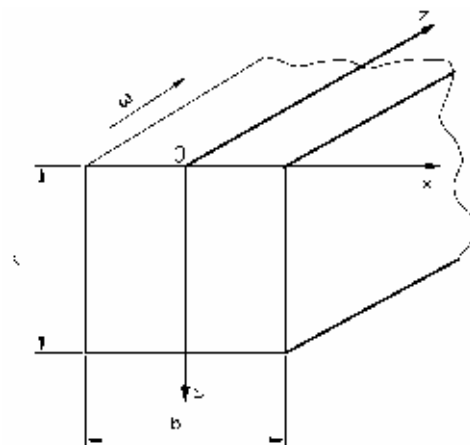


Рис. 3. Выбор системы координат при анализе затвердевания слитков прямоугольного сечения

мм; n – частота вращения колеса, мин^{-1} ; τ – время кристаллизации металла (остывания от температуры заливки до солидуса), с.

В способе непрерывного литья-прессования, так же как и в способе Конформ, давление прессования создается удельными силами контактного трения между затвердевшей частью заготовки и подвижной поверхностью канавки приводного колеса. Площадь контакта заготовки с инструментом при оптимальных размерах поперечного сечения калибра между канавкой и неподвижной вставкой зависит от протяженности этой зоны, которая определяется путем составления уравнения баланса мощностей в очаге деформации при непрерывном прессовании Конформ и его решения относительно длины зоны контакта твердой заготовки с инструментом [3].

$$\varphi = \frac{(1,45 \ln \mu + 0,8)bh}{f_1(2R_0h + h^2 + R_0b) - f_2(R_0 + h)b}, \quad (3)$$

где φ – центральный угол, отвечающий дуге контакта твердой части заготовки с калибром, рад; μ – коэффициент вытяжки; f_1, f_2 – коэффициенты трения соответственно по поверхности калибра и вставки.

Решив уравнение (3) для следующих значений: $b = 7$ мм; $h = 6$ мм; $R_0 = 39$ мм; $f_1 = f_2 = 0,4$ мм; $\mu = 2$, получим длину зоны контакта твердой части заготовки с калибром $L = 16$ мм.

Таким образом, из проведенных расчетов определяются размеры калибра колеса: по дну калибра $R_0 = 39$ мм; по вершине калибра $R_3 = 50$ мм; внутренний радиус вставки $R_1 = 45$ мм. Протяженность

участка сопряжения вставки с калибром $L_{кр} + L = 108 + 16 = 124$ мм, что соответствует центральному углу дуги участка сопряжения вставки с калибром

$$\varphi_{кр} + \varphi = \frac{L_{кр} + L}{R_0 + h/2} = \frac{108 + 16}{39 + 3} = 2,952 \text{ рад} = 69^\circ 8'.$$

Результаты расчетов использованы при выполнении рабочих чертежей, по которым изготовлен инструмент для лабораторной установки непрерывного литья-прессования металлов.

Список литературы

1. Корнилов В.Н. Непрерывное прессование со сваркой алюминиевых сплавов. Красноярск: Изд-во педагогического института, 1993. 216 с.
2. Расчет параметров деформационной зоны при непрерывном прессовании способом Конформ / Ю.В. Горохов, Н.Н. Загиров, И.Ю. Губанов // Металлы. 2004. № 4. С. 113–116.
3. Непрерывное литье-прессование цветных металлов / Сергеев В.М., Горохов Ю.В., Соболев В.В., Нестеров Н.А. М.: Металлургия, 1990. 85 с.

List of literature

1. Kornilov V.N. Straight-through extrusion with aluminum alloys welding. Krasnoyarsk: teachers training university press, 1993. 216 p.
2. The calculation of deformation zone characteristics when applying straight-through extrusion by Conform method / Yu.V. Gorokhov, N.N. Zagirov, I.Yu. Gubanov // Metals. 2004. № 4. P. 113–116.
3. Continuous transfer molding of non-ferrous metals / Sergeyev V.M., Gorokhov Yu.V., Sobolev V.V., Nesterov N.A. M.: Metallurgy, 1990. 85 p.

УДК 662.785:669.162.262.3

Сибгатуллин С.К., Майорова Т.В., Чевычелов А.В., Гостенин В.А., Сенькин К.В.

СРАВНЕНИЕ СВОЙСТВ СТАБИЛИЗИРОВАННОГО АГЛОМЕРАТА ОАО «ММК» И ОКАТЫШЕЙ ССГПО

В лабораторных условиях МГТУ оценили прочностные характеристики агломерата ММК и окатышей ССГПО при нагреве до различных температур с выдержкой в течение 30 мин без кокса и в смеси с различной долей кокса. Определяли сопротивление ударным и истирающим нагрузкам, которым подвергается испытываемая проба во вращающейся в вертикальной плоскости со скоростью 27 об/мин в течение 8 мин в стальной гладкостенной трубе длиной 1000 мм и диаметром в свету 78,5 мм. Показателями служили: сопротивление удару (СУ, выход фракции более 5 мм, %), разрушаемость (Р, выход фракции 0,5–5 мм, %), истираемость (И, выход фракции менее 0,5 мм, %). Результаты нагрева без кокса представлены в табл. 1, а при различных рудных нагрузках – в табл. 2.

Неофлюсованные окатыши ССГПО прочнее и менее разрушаемы, чем стабилизированный агломерат, но имеют более высокую истираемость.

Результаты нагрева до 500°C при различных рудных нагрузках представлены в табл. 2, а до 800°C – в табл. 3.

С повышением рудной нагрузки прочность на удар

Таблица 1

Прочностные свойства стабилизированного агломерата ММК и неофлюсованных окатышей ССГПО при нагреве без кокса до различных температур

Температура, °С	Агломерат			Окатыши		
	СУ, %	Р, %	И, %	СУ, %	Р, %	И, %
20	92,9	5,0	2,1	95,9	1,2	2,9
400	92,6	5,0	2,4	94,7	1,2	4,1
600	93,2	4,7	2,1	95,9	1,2	2,9
800	93,8	3,8	2,4	95,9	0,6	3,5
1000	94,1	3,8	2,1	94,7	1,2	4,1

уменьшается, а истираемость возрастает. Различие агломерата и окатышей по истираемости увеличивается.

Повышение температуры с 500 до 800°С сильнее действует на прочностные характеристики агломерата по сравнению с окатышами.

Прочность неофлюсованных окатышей ССГПО на раздавливание составила в среднем 235 кг/окатыш. Отдельные окатыши имели прочность в интервале 50–100 и 300–400 кг/окатыш.

Эквивалентная по поверхности крупность стабилизированного агломерата фабрики № 2 ОАО «ММК» в среднем за 2007 г. составила 10,42 мм, окатышей ССГПО прямого парка 10,38 мм, поставляемого из склада, – 9,24 мм. Средневзвешенная крупность стабилизированного агломерата при этом составила 17,96 мм, окатышей ССГПО прямого парка 11,32 мм, из склада – 10,85 мм. Стабилизированный агломерат и окатыши прямого парка имеют близкие значения эквивалентной по поверхности крупности, но существенно отличаются по средневзвешенной величине.

Отношение средневзвешенной крупности к эквивалентной по поверхности, характеризующее однородность по крупности, в среднем за 2007 г. составила: агломерата 1,70, окатышей ССГПО прямого парка 1,09, предварительно складированных – 1,17. Видна более высокая однородность окатышей по крупности.

Гранулометрический состав офлюсованных (ОФ) окатышей ССГПО (июнь 2007 г.) и неофлюсованных (НФ, август 2007 г.) были следующими:

крупность фракций, мм	+10	10–5	5–0
содержание, %:			
в офлюсованных	79,5	19,1	1,4
в неофлюсованных	82,0	16,7	1,3

Таблица 2

Прочностные свойства стабилизированного агломерата ММК и неофлюсованных окатышей ССГПО при температуре 500°С

Рудная нагрузка	Агломерат			Окатыши		
	СУ, %	Р, %	И, %	СУ, %	Р, %	И, %
3,6	93,35	5,00	1,65	97,7	0,6	1,7
3,8	91,55	6,35	2,10	92,6	0,6	6,8
4,0	92,00	5,50	2,50	93,0	1,0	6,0
4,2	91,40	6,40	2,20	93,3	1,9	4,8

Таблица 3

Прочностные свойства стабилизированного агломерата ММК и неофлюсованных окатышей ССГПО при температуре 800°С

Рудная нагрузка	Агломерат			Окатыши		
	СУ, %	Р, %	И, %	СУ, %	Р, %	И, %
3,6	87,2	7,2	5,6	92,2	2,2	5,7
3,8	89,5	5,8	4,7	90,5	2,1	7,4
4,0	91,5	5,0	3,5	93,0	1,0	6,0
4,2	88,6	7,7	3,7	91,4	1,9	6,7

Крупность и однородность по крупности этих окатышей составили:

вид окатышей	ОФ	НФ
эквивалентная по поверхности крупность, мм	10,56	10,74
средневзвешенная крупность, мм	11,41	11,54
показатель однородности	1,08	1,07

Свойства окатышей по партиям и по времени более стабильны, чем свойства агломерата. Неофлюсованные окатыши крупнее и несколько более однородны по сравнению с офлюсованными.

Углы откоса стабилизированного агломерата и неофлюсованных окатышей применительно к загрузке их в доменную печь лотковым устройством представлены в табл. 4 и 5.

По этим данным зависимость угла откоса агломерата и окатышей от угла наклона стальной поверхности, с которой они поступают, находятся в пределах вариации результатов при повторных испытаниях. Окатыши имеют в среднем на 7 град меньший угол откоса, чем агломерат. Внутренний угол превышает наружный на 5 град. Увеличение высоты падения на 0,25 м уменьшает угол откоса агломерата на 1,9, окатышей на 1,6 град.

В окатышах железо имеет более высокую окисленность по сравнению с агломератом. Следовательно, при их использовании в доменную печь поступает на 1 т чугуна больше кислорода с железом, чем при

Таблица 4

Внутренний (ВН) и наружный (НР) угол откоса стабилизированного агломерата при падении с наклонной стальной поверхности

Высота падения, м	Вид угла	Угол откоса (град)				
		по углам наклона поверхности (град)				
		10	20	30	40	50
0,5	ВН	34	35	36	29	35
	НР	32	25	32	30	32
1,0	ВН	29	32	31	33	33
	НР	28	30	26	23	23
1,25	ВН	31	29	27	31	31
	НР	26	22	24	22	24

Таблица 5

Внутренний (ВН) и наружный (НР) угол откоса окатышей ССГПО при падении с наклонной стальной поверхности

Высота падения, м	Вид угла	Угол откоса (град)				
		по углам наклона поверхности (град)				
		10	20	30	40	50
0,5	ВН	27–28	25–26	29–30	28–29	27–28
	НР	26–28	25–26	28–29	19–20	22–23
1,0	ВН	21–22	23–24	22–24	25–26	26
	НР	18–19	17	16–17	17	17
1,25	ВН	20–22	24–25	23–25	20–22	22–24
	НР	14	22–23	19–20	15	16

работе на агломерате. Дополнительный кислород находится в виде Fe_2O_3 и поэтому он в современных условиях не требует дополнительного кокса (восстановителя) для перевода его из шихты в колошниковый газ. Восстановление Fe_2O_3 происходит в верхней части доменной печи за счет остаточного (избыточного) CO , покидающего печь после использования в других реакциях восстановления.

Неофлюсованные окатыши ССГПО, производимые в современных условиях, прочнее и менее разрушаемы, чем стабилизированный агломерат, но имеют более высокую истираемость. С повышением рудной нагрузки прочность на удар уменьшается, а истираемость возрастает. При этом различие агломерата и окатышей

увеличивается. Неофлюсованные окатыши крупнее и несколько более однородны по сравнению с офлюсованными. Зависимость угла откоса агломерата и окатышей от угла наклона стальной поверхности, с которой она поступают, находятся в пределах вариации результатов при повторных испытаниях. Окатыши имеют в среднем на 7 град меньше угол откоса, чем агломерат. Внутренний угол превышает наружный на 5 град. Увеличение высоты падения на 0,25 м уменьшает угол откоса агломерата на 1,9, окатышей на 1,6 град. Превышение содержания кислорода в окатышах по сравнению с агломератом за счет более высокой доли Fe_2O_3 в современных условиях не требует дополнительного расхода кокса (восстановителя).

УДК 681.51

Кирип Ю.П., Затонский А.В., Беккер В.Ф.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ СЛОЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ПОЗИЦИОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

В общем случае проблема построения математической модели сложного технологического объекта для синтеза управления предполагает решение следующих основных вопросов [1]:

– нахождение компромисса между точной передачей свойств технологического процесса и относительно простой модели;

– построение многомерных математических моделей при большом числе переменных состояния технологического процесса;

– изучение возможности замены системы уравнений в частных производных, описывающих технологический процесс с распределенными параметрами, системой обыкновенных дифференциальных уравнений;

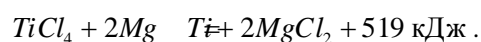
– описание поведения технологического процесса в условиях неопределенности и нестационарности, обусловленных неполной текущей и априорной информацией о возмущениях, изменением состояния функционирования технологического процесса и параметров управления;

– повышение точности описания технологического процесса путем учета нелинейности уравнений модели.

Решение этой проблемы представляет значительные трудности для разработчика систем управления. Установлено, что разработка математической модели занимает от 80 до 90% усилий, необходимых для построения систем управления.

К классу сложных технологических объектов относятся процессы восстановления и вакуумной сепарации в производстве губчатого титана [2].

Процессы восстановления тетрахлорида титана магнием и последующей вакуумной сепарации составляют основу промышленного производства губчатого титана [3]. Экзотермическая реакция химического превращения:



После восстановления в реакторе остается спекшийся блок реакционной массы в виде титановой губки, пропитанной основными примесями – магнием и хлоридом магния. Последние имеют достаточно высокое давление паров и при нагревании под вакуумом испаряются, а затем конденсируются в специальном устройстве – конденсаторе. Процессы проводят в аппаратах периодического действия. Конструкция аппаратов восстановления и сепарации предусматривает разделение рабочего объема каждого аппарата на ряд зон нагрева (аппарат сепарации), зон нагрева и зону экзотермической реакции (аппарат восстановления). Характерная особенность таких систем как объектов управления состоит в поддержании позиционными регуляторами в каждой зоне нагрева (зоне реакции) определенной температуры с требуемой точностью. При этом температура зон нагрева аппаратов восстановления и сепарации регулируется притоком электрической энергии, поступающей от нагревателей, а температура зоны экзотермической реакции регулируется оттоком тепловой энергии посредством создаваемого вентилятором воздушного охлаждения.

Построение моделей динамики зон нагрева аппаратов восстановления и вакуумной сепарации, зоны экзотермической реакции аппарата восстановления являются одним из основных этапов синтеза систем оптимального управления температурным режимом процессов восстановления и вакуумной сепарацией губчатого титана [4].

Рассмотрим в рамках сформулированных выше вопросов особенности производства губчатого титана, которые необходимо учитывать при математическом

описании динамических свойств процессов восстановления и вакуумной сепарации [5–8].

1. Изменчивость параметров аппаратов восстановления и сепарации. В процессе эксплуатации реакторы удлиняются, уменьшается толщина их стенок, изнашивается футеровка печей, в условиях агрессивных сред снижается мощность нагревателей.

2. Нестационарность и нелинейность процессов как объектов управления. На объекты управления действуют неконтролируемые переменные возмущения, вызванные изменением теплофизических характеристик реакционной массы, ее структуры, состава и конфигурации, изменением тепла экзотермической реакции восстановления тетрахлорида титана магнием и потребляемого тепла при вакуумной очистке губчатого титана от примесей магния и хлорида магния. Статические и динамические характеристики зон нагрева и зоны реакции различны на разных стадиях процессов, характер их изменения не подчиняется какому-либо определенному закону.

3. Многомерность объектов управления, обусловленная многозонной системой нагрева аппарата сепарации и многозонной системой нагрева и охлаждения аппарата восстановления со значительным числом взаимосвязанных распределенных по временным и пространственным координатам входных и выходных величин.

4. В динамике, в реальных условиях эксплуатации, отсутствует априорная информация о форме и степени связи выходных величин аппаратов с соответствующими входными величинами, которая одновременно учитывала бы влияние на выходные величины тепловых режимов соседних зон и неконтролируемых возмущений.

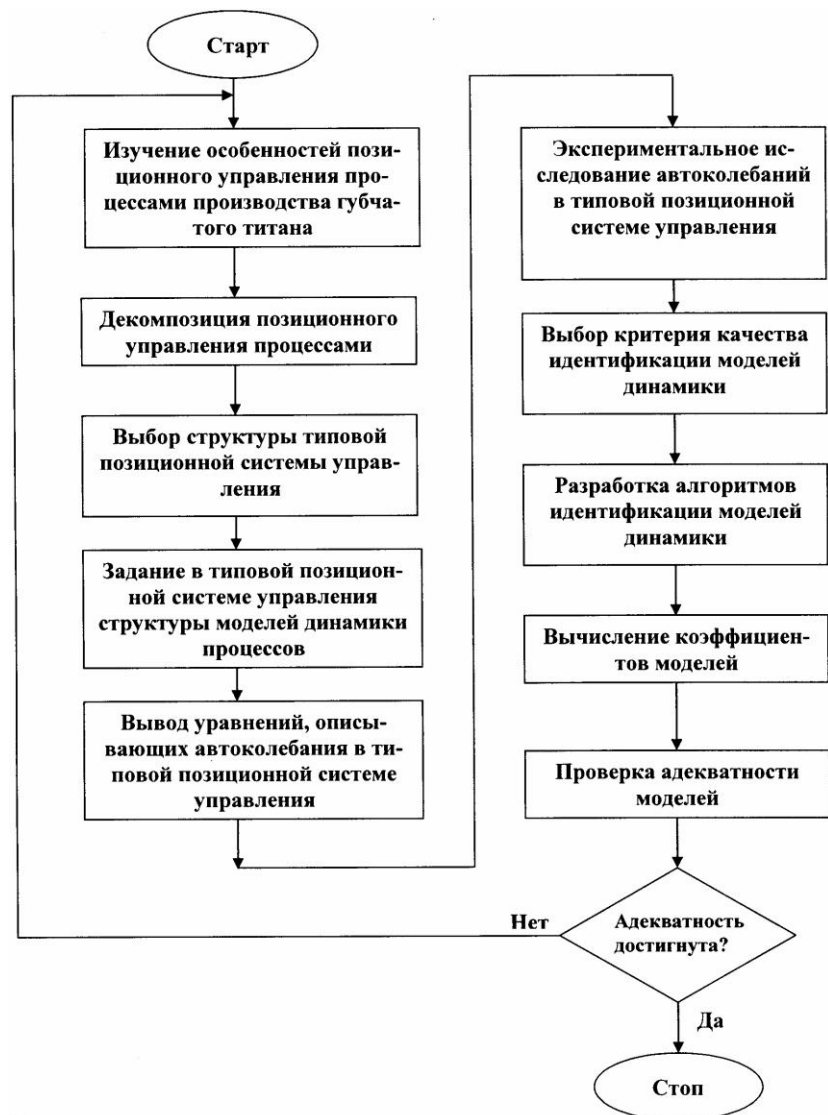
5. Нелинейность систем управления. При существующем аппаратном оформлении процессов восстановления и сепарации исполнительными механизмами служат релейные элементы (контакты, пускатели, клапаны, дозаторы), которые имеют два рабочих положения (включено – выключено). Это обстоятельство предопределило позиционный принцип управления технологическими процессами. Автоматизация осуществлена на базе нелинейных систем управления, в которых заданные технологические координаты процессов поддерживают двухпозиционные регуляторы. Рабочие режимы регулирования технологических координат в нелинейных системах – сложные автоколебательные процессы, характеризующиеся асимметрией автоколебаний и остаточной неравномерностью,

т.е. имеет место ошибка регулирования, величина и знак которой меняются случайным образом в ходе каждого единичного процесса восстановления и вакуумной сепарации.

6. В целом можно считать, что процессы восстановления и вакуумной сепарации являются многомерными многосвязными нестационарными нелинейными объектами, а системы управления этими объектами – многомерными многосвязными нестационарными нелинейными системами управления [2].

Изложенные выше особенности производства губчатого титана свидетельствуют о сложности процессов восстановления и сепарации как объектов управления и в целом характерны для управления и оценки состояния систем в условиях неопределенности и нестационарности [1, 9]. Это существенно затрудняет получение адекватного математического описания динамики процессов.

Проведем декомпозицию систем управления.



Этапы построения моделей динамики процессов производства губчатого титана

Предположим, что система управления процессом восстановления состоит из несвязанных друг с другом (автономных) нестационарных нелинейных систем регулирования температуры зон нагрева и зоны реакции. Управление процессом вакуумной сепарации состоит из несвязанных друг с другом нестационарных нелинейных систем регулирования температуры зон нагрева аппарата сепарации. Такие допущения вполне оправданы, учитывая, что температурные поля аппаратов достаточно хорошо изучены, и на практике взаимное влияние тепловых режимов устраняется рациональным размещением в рабочем объеме аппаратов восстановления и сепарации термодар и нагревателей зон, выбором оптимальной конструкции системы воздушного охлаждения зоны экзотермической реакции [10–13].

Предположим также, что указанные объекты являются объектами управления с сосредоточенными параметрами, динамика которых может быть описана обыкновенными дифференциальными уравнениями. Тогда с учетом принятых допущений управление процессами восстановления и сепарации можно рассматривать состоящим из ряда типовых нестационарных нелинейных (позиционных) систем регулирования технологических параметров [4].

Каждая из таких систем регулирования состоит из обобщенного нестационарного объекта управления (ОНОУ), на вход которого воздействует неконтролируемое возмущение, и двухпозиционного регулятора температуры.

Под ОНОУ подразумевают зону нагрева, зону реакции аппарата восстановления или зону нагрева аппарата сепарации; под неконтролируемым возмущением – изменение тепловых потерь зоны нагрева, изменение тепла зоны экзотермической реакции аппарата восстановления, изменение потребляемого тепла зоны нагрева аппарата сепарации.

Для оценки динамических свойств реальный ОНОУ представлен эквивалентными нестационарными объектами с самовыравниванием и без самовыравнивания, описываемыми соответствующими дифференциальными уравнениями с переменными коэффициентами [14]. Таким образом, предполагается, что априорно известны структуры моделей динамики. Получены системы конечных уравнений, описывающие автоколебания температуры в позиционных системах управления с указанными объектами. Задача построения моделей динамики (задача идентификации) ОНОУ в данном случае сводится к решению систем уравнений для определения по измеренным в эксперименте значениям параметров автоколебаний температуры неизвестных коэффициентов моделей динамики: постоянных времени, коэффициентов усиления, запаздываний, возмущений.

Критерий качества идентификации определен функцией потерь, представляющей собой среднеквадратическую оценку измеренных в эксперименте и расчетных параметров автоколебаний [15]. Разработаны алгоритмы решения систем конечных уравнений (алгоритмы идентификации), минимизирующие

функцию потерь. В результате получены адекватные реальному ОНОУ математические модели динамики.

Методология построения моделей динамики технологических процессов производства губчатого титана включает следующие основные этапы (см. рисунок).

Таким образом, проблема построения моделей динамики сложных многосвязных нестационарных технологических объектов – процессов восстановления и вакуумной сепарации губчатого титана заменена решением в позиционных системах задач идентификации автономных нестационарных объектов управления. С использованием моделей динамики синтезирован новый класс систем управления [4], обеспечивающих оптимизацию и интенсификацию процессов восстановления и вакуумной сепарации.

Предложенная методология может быть применена для построения моделей динамики сложных технологических объектов в различных отраслях промышленности.

Список литературы

1. Сергин М.Ю. Современное состояние и возможные пути решения проблем построения систем управления технологическими процессами // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2004. №1. С. 2–8.
2. Идентификация технологических процессов производства губчатого титана / Кирич Ю.П., Затонский А.В., Беккер В.Ф., Краев С.Л. // Проблемы управления. 2008. №4. С. 71–77.
3. Тарасов А.В. Металлургия титана. М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. 328 с.
4. Синтез оптимальных систем управления процессами магнетермического получения губчатого титана / Кирич Ю.П., Затонский А.В., Беккер В.Ф. и др. // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-14: сб. тр. 14-й Междунар. науч. конф. Смоленск: СФМЭИ, 2001. Т. 2. С. 89–91.
5. Тимченко Б.С. Экспериментально-статистическая оптимизация, контроль и автоматизация металлургии. М.: Цветметинформация, 1968. 103 с.
6. Влияние различных факторов на срок службы реторт аппаратов магнетермического производства титана / Путина О.А., Путин А.А., Гулякин А.И. и др. // Цветные металлы. 1979. №9. С. 71–73.
7. Локшин Р.Г., Ревуцкий Е.Я. Автоматизация магнетермического процесса восстановления четыреххлористого титана // Труды ВАМИ. Л.: ВАМИ, 1964. №52. С. 128–137.
8. Минимизация длительности процессов сепарации титана в АСУ ТП / Кирич Ю.П., Черепанов А.И., Протасов Ю.А. и др. // Цветные металлы. 1983. №1. С. 51–54.
9. Куржанский А.Б. Управление и наблюдение в условиях неопределенности. М.: Наука, 1977. 392 с.
10. Исследование температурных полей аппаратов сепарации различной конструкции / Петрунько А.Н., Андреев А.Е., Арутюнов Э.А. и др. // Цветные металлы. 1969. №4. С. 74–76.
11. Изучение температурных полей аппаратов для получения губчатого титана / Титаренко А.И., Черепанова Е.А., Мальшин В.М. и др. // Цветные металлы. 1976. №4. С. 50–51.
12. Температурные поля аппаратов восстановления / Черепанова Е.А., Мальшин В.М., Яценко А.П. и др. // Цветные металлы. 1982. №3. С. 51–52.
13. Опыт стабилизации температурного режима сепарации реакционной массы при производстве титана / Черепанова Е.А., Мушков С.В., Гулякин А.И. и др. // Цветные металлы. 1983. №4. С. 57–58.

14. Кирин Ю.П., Затонский А.В., Беккер В.Ф. и др. Идентификация математических моделей нестационарных объектов управления // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-14: Сб. тр. 14-ой Междунар. науч. конф. Смоленск: СФ МЭИ, 2001. Т.2. С. 92–94.
15. Применение методов оптимизации для идентификации объектов в позиционных системах регулирования / Затонский А.В., Кирин Ю.П., Беккер В.Ф. и др. // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-18: сб. тр. 18-й Междунар. науч. конф. Казань: КГТУ, 2005. Т.10. С. 67–70.
7. Gulyakin A.I. etc. // Nonferrous metals. 1979. № 9. P. 71–73.
7. Lokshin R.G., Revutskiy E.Y. Automation of thermal magnesium renewal process of tetrachloride titanium // Works of VAMI. L.: VAMI, 1964. № 52. P. 128–137.
8. Minimization of titanium separation process duration in automatic control system / Kirin Y.P., Cherepanov A.I., Protasov Y.A. etc. // Nonferrous metals. 1983. № 1. P. 51–54.
9. Kurzhashsky A.B. Control and monitoring in cases of uncertainty. M.: Science, 1977. 392 p.
10. Analysis of thermal fields thermal fields of different separating machinery / Petrunko A.N., Andreev A.E., Arutyunov E.A. etc. // Ferrous metals. 1969. № 4. P. 74–76.
11. Analysis of thermal fields of sponge titanium production machinery / Titarenko A.I., Cherepanova E.A., Malshin V.M. etc. // Ferrous metals. 1976. № 4. P. 50–51.
12. Thermal fields of renewal machinery / Cherepanova E.A., Malshin V.M., Yatsenko A.P. etc. // Ferrous metals. 1982. № 3. P. 51–52.
13. Stabilization experience of temperature conditions of separation reaction matter in titanium production / Cherepanova E.A., Mushkov S.V., Gulyakin A.I. etc. // Ferrous metals. 1983. № 4. P. 57–58.
14. Kirin Y.P., Zatonsky A.V., Bekker V.F. etc. Identification of mathematical model of non-stationary control objects // Mathematical methods in technics and technology – ММТТ-14: Collection of articles of the 14th scientific conference. Smolensk: SF MEI, 2001. V.2. P. 92–94.
15. Application of optimizing methods for objects identification in point-to-point control systems / Zatonsky A.V., Kirin Y.P., Bekker V.F. etc. // Mathematical methods in technics and technology – ММТТ-18: Collection of articles of the 18th scientific conference. Kazan: KSTU, 2005. V.10. P. 67–70.

List of literature

1. Sergin M.J. Current situation and possible solution of problems of technological process control systems construction // Devices and systems. Operation, control, diagnostics. 2004. № 1. P. 2–8.
2. Recognition of technological processes in spongy titanium production / Kirin J.P., Zatonsky A.V., Bekker V.F., Kraev S.L. // The problems of management. 2008. № 4. P. 71–77.
3. Tarasov A.V. Titanium metallurgy M.: Publishing House «Akademkniga», 2003. 328 p.
4. Synthesis of optimal process control systems of thermal magnesium method of spongy titanium production / Kirin J.P., Zatonsky A.V., Bekker V.F. etc. // Mathematical methods in technics and technology - ММТТ-14: сб. тр. Collection of articles of the 14th International scientific conference. Smolensk: SF MEI, 2001. V. 2. P. 89–91.
5. Timchenko B.S. Experimental statistic optimization, control and automation of metallothermy. M.: Tsvetmetinformatsiya 1968. 103 p.
6. The impact of different factors on the durability of retorts in thermal magnesium titanium production machinery / Putina O.A., Putin A.A.,

УДК 668.018

Чуманов И.В., Трофимов Е.А., Чуманов В.И.

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ ПОВЕДЕНИЯ ИСКУССТВЕННО ВВЕДЁННЫХ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ КАРБИДА ТИТАНА В ОБЪЁМЕ ЖИДКОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ МАТРИЦЫ ПРИ БОЛЬШИХ СКОРОСТЯХ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ*

Одним из путей увеличения механических свойств металлических материалов, повышения их срока службы и снижения металлоемкости продукции является увеличение конструктивной прочности стали и сплавов за счет выделения или введения в металлическую матрицу дисперсных упрочняющих фаз.

Проведенный анализ литературных данных показывает, что, несмотря на большое количество исследовательских работ, посвященных вопросам упрочнения стали и сплавов дисперсными фазами, в этом вопросе остается много неясности и нерешенных проблем. При дисперсионном упрочнении не удается добиться сохранения высоких прочностных характеристик стали при высоких температурах. При дисперсном упрочнении возникают трудности с введением в жидкий металл частиц упрочняющей фазы и получением структур с равномерным ее распределением и минимальным рас-

стоянием между этими частицами, что не позволяет гарантированно получать высокие прочностные характеристики металла. Вместе с тем отмечается, что наиболее перспективным способом упрочнения стали и сплавов является ввод твердых тугоплавких карбидов в жидкую металлическую матрицу [1]. Следовательно, умение вводить дисперсные карбиды в металлическую матрицу, прогнозировать их распределение в слитке и влияние на механические характеристики стали представляются весьма актуальными.

Исследования, посвященные процессу введения частиц карбида титана в слиток, проводятся на кафедре «Общая металлургия» в течение нескольких лет. Разработан и запатентован способ введения этих частиц в процессе вытяжки слитка из кристаллизатора вверх [2].

Эксперименты, поставленные сотрудниками кафедры по вводу дисперсных частиц карбида титана при кристаллизации в процессе вытяжки слитка из кристаллизатора вверх, проводили следующим образом: для переплава были использованы отходы стали 40Х; расплавление исходной шихты проводили в 50 кг индукционной тигельной печи; расплавленный

* Работа выполнена при финансовой поддержке программы Федерального агентства по образованию «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 гг.)», № 2.1.2./687.

металл при температуре 1520–1540°C заливали сифоном в водоохлаждаемый кристаллизатор диаметром 60 мм с непрерывной подачей дисперсных частиц карбида титана в струю жидкого металла.

Образующийся в кристаллизаторе слиток вытягивали вверх (в направлении, обратном гравитационным силам) при помощи установки вытяжки слитка со скоростью 0,05 м/с. Масса слитка, полученного в ходе проведения экспериментов с вытяжкой вверх, составила 15 кг.

Анализ неметаллических включений с определением металлографических признаков состава включений проводили в светлом, темном полях и поляризованном свете при увеличениях $\times 100$, $\times 500$, $\times 1000$ на микроскопе МИМ–10.

В ходе металлографического исследования установлено, что неметаллические включения, наблюдаемые в образцах, можно разделить на три группы:

1. Оксидные включения экзогенного происхождения – от мельчайших (< 2 мкм) включений SiO_2 до крупных глобулярной формы, видимых невооруженным глазом при визуальном осмотре шлифов.

2. Окисленные пленки – от тончайших до довольно грубых.

3. Комплексные соединения титана (карбиды, нитриды, карбонитриды, оксикарбонитриды) в виде сыпи размером менее 1,3 мкм, располагающиеся вокруг крупных оксидных включений, по телу зерна и по его границам, а также достаточно крупные включения размером от 2 до 10 мкм.

Образование нитридных, карбонитридных и оксикарбонитридных соединений титана в структуре металлической матрицы, по-видимому, связано с наличием в металлическом расплаве растворенных кислорода и азота. Это хорошо согласуется с имеющимися в литературе исследовательскими данными [1]. В ходе ранее проведенных работ не было уделено должного внимания процессам химического взаимодействия между карбидом титана и компонентами железного расплава. В частности, не изучался равновесный состав образующихся в ходе этого взаимодействия оксикарбонитридов титана. Не определялась скорость реакций взаимодействия. Не изучалось влияние различных примесей металла на ход этих процессов.

Кроме того, в ходе построения модели распределения частиц карбида титана в металлической матрице непропорционально большое внимание было уделено вертикальному перемещению (всплыванию) частиц карбида. Между тем, по данным экспериментов (табл. 1, 2) разность в плотности включений между верхней частью слитка и нижней составляет в среднем всего 4%, а концентрация включений на одном уровне высоты, на краю слитка меньше, чем в центре на 41%. Поэтому модель, позволяющая проследить влияние различных технологических факторов на горизонтальное распределение частиц TiC в слитке, будет иметь большое практическое значение.

Для определения того, как может влиять процесс всплывания частиц карбида титана на плотность включений этого вещества в слитке, рассмотрим пре-

дельный случай всплывания включений с конечной скоростью v по закону Стокса:

$$v = \frac{gd^2\Delta\rho}{18\eta},$$

где g – ускорение свободного падения; d – диаметр частицы; $\Delta\rho$ – разность плотностей жидкой стали и включения; η – вязкость жидкой стали.

Проведенный в нашей работе расчёт, в частности, показал, что скорость всплывания частиц карбида титана ($\rho=4,92$ г/см³, размер частиц – 1,5 мкм) в стали ($\rho=7,7$ г/см³, вязкость – $4 \cdot 10^6$ Па·с) составит $6,93 \cdot 10^{-5}$ см/с, или $4,16 \cdot 10^{-3}$ см/мин.

Таким образом, с учётом небольшого времени кристаллизации слитка (менее 1 мин) всплывание частиц не должно оказать существенное влияние на разность в плотности включений. Некоторая наблюдающаяся разность в плотности распределения включений (см. табл. 2) может быть объяснена всплыванием более крупных оксидных включений, которые отчасти увлекают за собой и небольшие частицы TiC.

В ходе проведенных работ показано [3], что изменение плотности включений в полученных слитках, при кристаллизации металла от периферии к центру, по горизонтальному сечению может быть описано уравнением

$$C/C_0 = 1 - (1-k) \cdot \exp\left(-k \cdot \frac{x}{(1-x)}\right),$$

в котором C – концентрация примеси в твердой фазе, C_0 – средняя концентрация примеси, x – доля площади горизонтального сечения, которая закристаллизовалась к данному моменту времени (для $\frac{1}{2}$ радиуса эта доля равна 0,7501).

Проведенные нами расчёты продемонстрировали принципиальную пригодность этой модели для описания распределения включений полученного в ходе эксперимента (см. табл. 2). Рассчитанное нами значение $k = 0,588$, $C_0 = 341$. Таким образом, разработана модель, позволяющая с удовлетворительной точностью рассчитывать распределение плотности включений в слитке в горизонтальном направлении.

Для определения направления протекающих между расплавом на основе железа и частицами TiC процессов проведён расчёт составов металла, находящегося в равновесии с различными неметаллическими фазами системы Fe–Ti–C–N–O.

Составы металла, находящегося в равновесии с одной или несколькими неметаллическими фазами,

Таблица 1

Распределение включений по высоте слитка

Слиток	Среднее число включений	%
Верх	905,03	100
Центр	877,50	97
Низ	865,80	95,7

Таблица 2

Распределение включений по ширине слитка

Слиток	Среднее число включений	%
Край	209,37	58,8
$\frac{1}{2}$ радиуса	317,07	89
Центр	356,34	100

рассчитываются следующим образом:

Записываются выражения для констант равновесия реакций между компонентами жидкого металла, которые приводят к образованию в качестве продуктов реакции неметаллических фаз, и по известным температурным зависимостям вычисляются значения констант равновесия этих реакций при определённой температуре.

Затем полученная система уравнений решается относительно составов металлического и неметаллического расплавов. В расчёте учитывается, что сумма концентраций компонентов металла неметаллических фаз и газа равна 100%. Решение полученных систем уравнений осуществляется посредством программы для ЭВМ. Необходимые для этого термодинамические данные (заимствованные из работы [4]) приведены в табл. 3 и 4.

Проведенный термодинамический расчет показал, что оксикарбонитрид титана не может находиться в равновесии с металлом заданного нами состава (0,63% С, 0,001% О, 0,01% N, 0,05% Ti). Сосуществование возможно лишь в случае повышения концентрации титана в металле до 0,36%. Впрочем, и в этом случае большую часть оксикарбонитридной фазы (~ 75,7%) будет составлять TiO, ~ 22,9% TiN, а TiC – лишь 1,5%.

В работе [5] приведены кинетические характеристики растворения карбида титана в расплавах Fe–C, Fe–Ti и в стали X18Ni0T при 1873–1973 К. Из них следует, что с ростом температуры скорость растворения существенно увеличивается, в то время как добавки углерода и титана уменьшают скорости взаимодействия.

Используя эти данные, нами рассчитана скорость растворения частицы карбида титана в расплаве железа. Объем частицы карбида с радиусом 1,5 мкм равен $3,38 \cdot 10^{-18} \text{ м}^3$, площадь поверхности – $1,35 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2$, масса – $1,66 \cdot 10^{-14} \text{ кг}$. Если взять минимальное из приведённых в работе [3] значений скоростей растворения карбида титана в жидком железе ($0,1 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$), то и в этом случае растворение должно осуществляться за тысячные доли секунды, чего, очевидно, не происходит.

Выводы

1. Изучена возможность влияния всплывания частиц карбида титана на различную их плотность в верхней, средней и нижней частях слитка. Рассчитана средняя скорость всплывания частиц TiC. Показано, что скорость всплывания частиц размером до 5 мкм относительно низка, поэтому разность в плотности включений может быть объяснена всплыванием более крупных оксидных включений, которые отчасти увлекают за собой и

Таблица 3

Значения параметров взаимодействия первого порядка

Элемент	Ti	O	C	N
Ti	0,056	-1,108	-0,640	-1,540
O	-0,370	-0,200	-0,450	0,057
C	-0,160	-0,340	0,140	0,110
N	-0,450	0,050	0,130	0,000

небольшие частицы TiC.

2. Разработана модель, позволяющая с удовлетворительной точностью рассчитывать распределение плотности экзогенных включений карбида титана в слитке в горизонтальном направлении.

3. Проведенный термодинамический расчет показал, что оксикарбонитрид титана не может находиться в равновесии с металлом данного состава (0,63% С, 0,001% О, 0,01% N, 0,05% Ti). Сосуществование возможно лишь в случае повышения концентрации титана в металле до 0,36%. В этом случае большую часть оксикарбонитридной фазы (~ 75,7%) будет составлять TiO, ~ 22,9% TiN, а TiC – лишь 1,5%.

4. Изучена возможность применения литературных данных о скорости растворения карбида титана в железоуглеродных расплавах. Показано, что применение этих данных приводит к многократно завышенным значениям скоростей растворения. В частности, показано, что если бы литературные данные соответствовали бы действительности, то карбид титана полностью растворился бы в жидком железе в течение промежутка времени меньше 1 с, чего, очевидно, не происходит.

5. Противоречие между литературными данными о скоростях взаимодействия TiC с жидкой сталью и термодинамическими расчетами, показывающими невозможность равновесного сосуществования этого карбида со сталью, можно объяснить окислением поверхности частиц карбида титана. Образующаяся в результате оксидная или, скорее, оксинитридная пленка препятствует как растворению частицы TiC в жидком металле, так и дальнейшему ее окислению.

Работа проведена в рамках проекта «Проведение поисковых научно-исследовательских работ по направлению «Создание и обработка кристаллических материалов» (НК-91П), выполняемому в рамках мероприятия 1.2.1 «Проведение научных исследований научными группами под руководством докторов наук» направления 1 «Стимулирование закрепления молодежи в сфере науки, образования и высоких технологий» федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

Таблица 4

Константы равновесия и химические реакции для оксидных фаз

Реакции	Выражения для констант равновесия	$\lg K = f(T)$
$(\text{TiO})_{\text{т.р}} = [\text{Ti}] + [\text{O}]$	$K = \frac{a_{\text{Ti}} \cdot a_{\text{O}}}{X_{(\text{TiO})}}$	$\lg K = -19148/T + 6,80$
$(\text{TiC})_{\text{т.р}} = [\text{Ti}] + [\text{C}]$	$K = \frac{a_{\text{Ti}} \cdot a_{\text{C}}}{X_{(\text{TiC})}}$	$\lg K = -7956/T + 5,27$
$(\text{TiN})_{\text{т.р}} = [\text{Ti}] + [\text{N}]$	$K = \frac{a_{\text{Ti}} \cdot a_{\text{N}}}{X_{(\text{TiN})}}$	$\lg K = -15670/T + 6,38$
$(\text{Ti}_3\text{O}_5)_{\text{т}} = 3[\text{Ti}] + 5[\text{O}]$	$K = a_{\text{Ti}}^3 \cdot a_{\text{O}}^5$	$\lg K = -90752/T + 31,46$
$(\text{Ti}_2\text{O}_3)_{\text{т}} = 2[\text{Ti}] + 3[\text{O}]$	$K = a_{\text{Ti}}^2 \cdot a_{\text{O}}^3$	$\lg K = -53298/T + 18,00$

Список литературы

List of literature

1. Решетников С.А. Введение дисперсных карбидов в жидкий металл при кристаллизации непрерывнолитого слитка и их распределение в металлической матрице: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 1999. 16 с.
 1. Reshetnikov S.A. Insertion of dispersed carbide into liquid metal during solidification of continuous casting and their allocation in metal matrix: abstract of a thesis of the candidate of science 1999. 16 p.
 2. Пат. 2080206 Российская Федерация. Способ получения слитка / С.А. Решетников, В.И. Чуманов.
 2. Pat. 2080206 The Russian Federation How to produce an ingot / Reshetnikov S.A., Chumanov V.I.
 3. Повышение износостойкости стали путём ввода карбида титана при кристаллизации слитка / Чуманов И.В., Чуманов В.И., Пятыгин Д.А., Тельянова Е.Е. // Электromеталлургия. 2008. № 6. С. 22–24.
 3. The increase of steel wear resistance by adding titanium carbide during the solidification of an ingot / Chumanov I.V., Chumanov V.I., Pyatygin D.A., Teljyanova E.E. // Electrometallurgy. 2008. № 6. P. 22–24.
 4. Термодинамика процессов взаимодействия титана с компонентами жидкой нержавеющей стали типа Х18Н10Т / Г.Г. Михайлов, Н.М. Танклевская, В.Г. Павлов и др. // Изв. вузов. Черная металлургия. 1987. № 8. С. 4–8.
 4. Thermodynamics of the interaction processes of titanium and liquid stainless steel H18N10T / Mikhailov G.G., Tankleevskaya N.M., Pavlov V.G. etc. // Iron Industry. 1987. № 8. P. 4–8.
 5. Гуревич Ю.Г., Нарва В.К., Фраге Н.Р. Карбидстали. М.: Металлургия, 1988. 144 с.
 5. Gurevich Y.G., Narva V.K., Frage N.R. Carbide-steels. M.: Metallurgy, 1988. 144 p.
-

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.774

Козлов А.В., Шеркунов В.Г.

ВЛИЯНИЕ ХОЛОДНОЙ ГИБКИ С РАСКАТЫВАНИЕМ НА ТОЛЩИНУ СТЕНОК ИЗГИБАЕМОЙ ТРУБЫ

Изготовление криволинейных участков трубопроводов является сложной технической задачей и, как правило, требует применения дорогостоящего технологического оборудования. Разработанный в ЮУрГУ метод гибки труб в холодном состоянии [1] с дополнительным воздействием на изгибаемую трубу вращающимся раскатником (рис. 1) позволил повысить качество изделий, снизить изгибающие усилия, увеличить плавностьгиба и существенно снизить энергетические и экономические затраты. Пластическое течение металла при этом методе гибки предполагает существенное изменение толщины стенок на отдельных ее участках. Изучению этого вопроса посвящена данная работа.

С использованием лицензионного программного обеспечения MSC.Marc был смоделирован изгиб трубы $\varnothing 60$ мм с толщиной стенки 4 мм из Ст10, с одновременным раскатыванием инструментом с тремя деформирующими элементами, на угол 30° . Величина натяга составила 1 мм. Результаты расчета представлены на рис. 2, 3.

С использованием компьютерной модели гибки трубы были определены численные значения толщин стенок (см. рис. 3) в сечениях А-А и Б-Б, соответствующие угламгиба 15° и 30° . По этим значениям были построены графики изменения толщин стенок трубы (рис. 4) в поперечном сечении. Как видно из графика

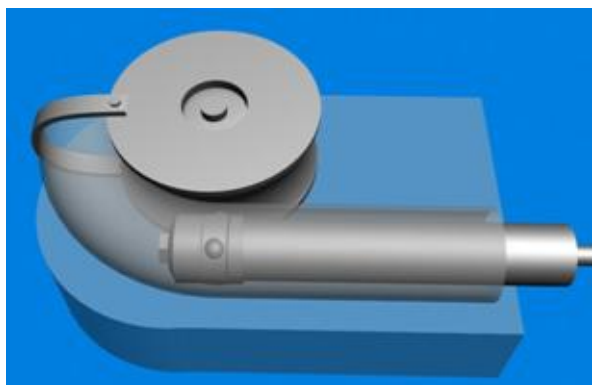


Рис. 1. Схема гибки труб с раскатыванием

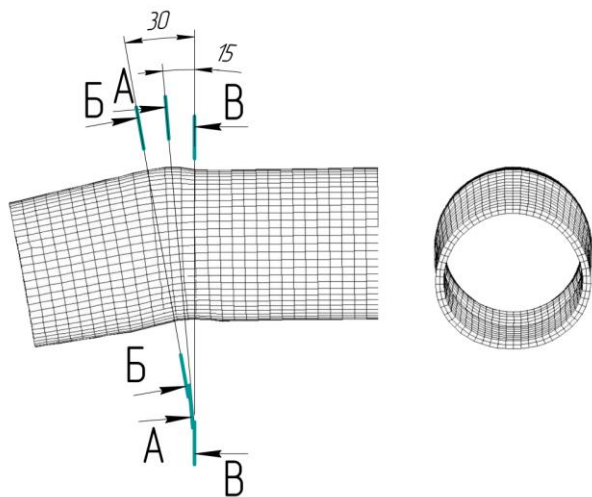


Рис. 2. Компьютерная модель изгиба трубы на угол 30°

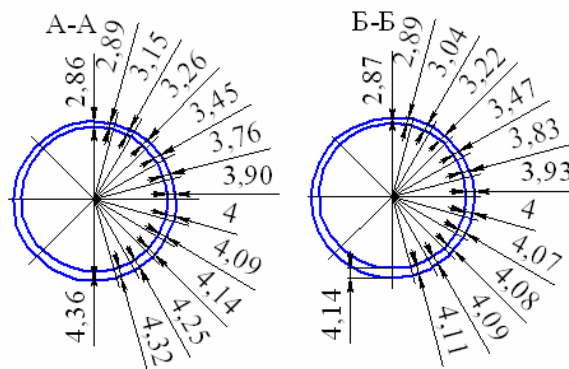


Рис. 3. Изменение толщины стенок изгибаемой трубы в сечениях А-А и Б-Б

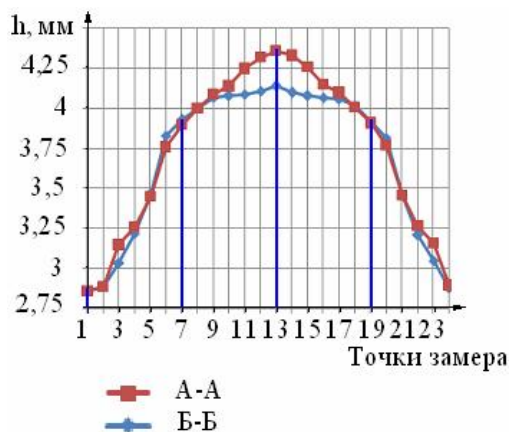


Рис. 4. График изменения толщины стенок в сечениях А-А и Б-Б

ков, происходит заметное уменьшение толщины наружной стенки вследствие ее удлинения. Величина утонения наружной стенки достигает 28% от исходной толщины стенки трубы (при радиусегиба $2D_y$). Наблюдается небольшое утонение по средней линии трубы (не более 2,5%) и утолщение внутренней стенки (в пределах 2,7–7,5%).

Для сравнения результатов, полученных при компьютерном расчете, были произведены измерения толщин стенок труб диаметра 60 мм, согнутых по новой технологии в различных сечениях (рис. 5). Построены графики, на которых показаны средние величины толщин стенок трубы в различных точках, полученных в результате компьютерного и натурального экспериментов (рис. 6).

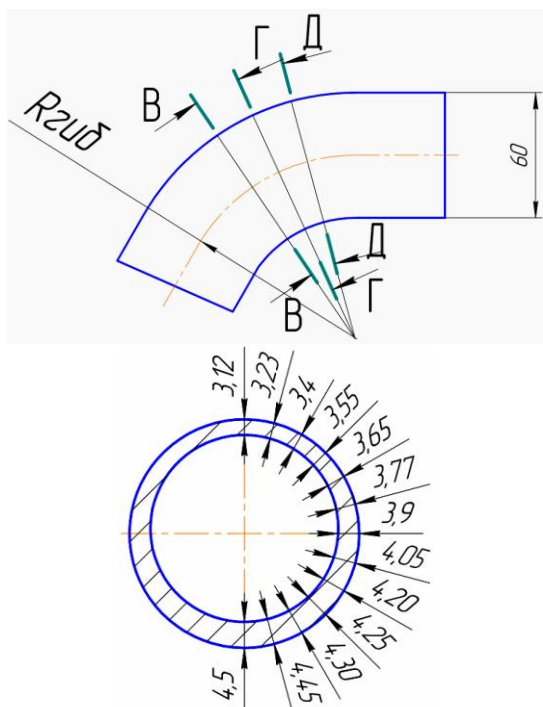


Рис. 5. Результаты измерения толщин стенок в натурном образце изогнутой трубы в сечении В–В

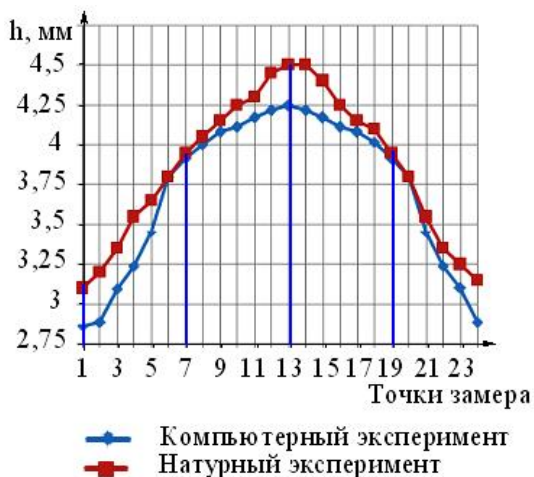


Рис. 6. Сравнение толщин стенок трубы

Сравнивая результаты компьютерного моделирования с реальными значениями толщин стенок, можно сделать вывод о том, что отклонение не превышает 6–8%. Это свидетельствует об адекватности разработанной компьютерной модели реальному процессу гибки с раскатыванием.

В ходе компьютерного моделирования был также получен продольный профиль изгибаемой трубы, что позволило оценить изменение толщины наружной стенки по длине получаемого изделия (рис. 7). Сравнивая реальный профиль гнутой трубы (рис. 8) с полученным в ходе компьютерного моделирования, также можно сделать вывод о практически полном совпадении компьютерной модели с реальным процессом гибки.

На рис. 9 показаны оба профиля при их совмещении.

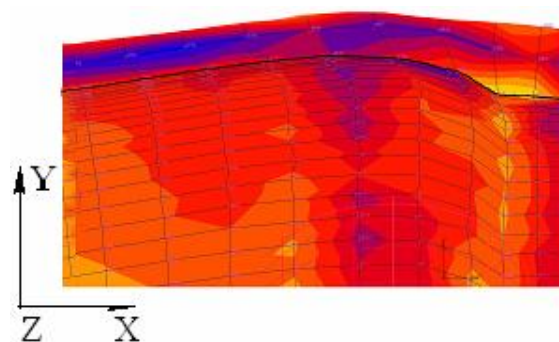


Рис. 7. Изменение толщины внешней стенки трубы при компьютерном моделировании



Рис. 8. Поперечное сечение внешней стенки изогнутой трубы в разрезе

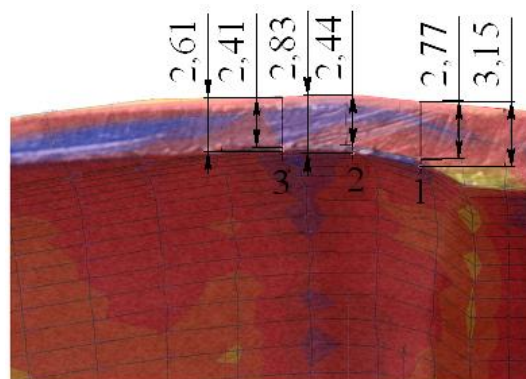


Рис. 9. Схема наложения реального профиля на расчетный

Таким образом, разработанная компьютерная модель позволяет прогнозировать величину утонения наружной стенки трубы при гибке с раскатыванием. Это имеет важное практическое значение для последующей эксплуатации изделий, получаемых по новой технологии, так как величина утонения стенок изгибаемой трубы является одной из важнейших эксплуатационных характеристик. В зависимости от величины радиусагиба, как показывают расчеты, утонение наружной стенки изгибаемой трубы составляет от 15% при $R_{гиба}=2,5D_y$ до 40% при $R_{гиба}=1,5D_y$. В то же время следует отметить, что это утонение в значительной степени компенсируется упрочнением материала в деформируемой зоне, как это неоднократно нами отмечалось [2, 3].

Список литературы

1. Пат. 818707 РФ, МКИ В 21 D 9/14. Способ гибки труб / С.Г.Лакирев, Я.М. Хилькевич. № 2713945/25; заявл. 17.0.79;

опубл. 07.04.81, Бюл. №13. 3 с.
 2. Контроль состояния материала труб при их гибке с раскатыванием / Козлов А.В., Шеркунов В.Г. // Конт роль. Диагностика. 2008. № 11.
 3. Комплексное исследование свойств материала отводов пнутых, получаемых гибкой с раскатыванием / Козлов А.В., Шеркунов В.Г. // Вестник ЮУрГУ. Сер. Машиностроение. 2007. № 10.

List of literature

1. Pat. 818707 RF, MKI B 21 D 9/14. The method of tube folding / Lakiryov S.G., Hilkevich Y.M. ч. № 2713945/25; 17.0.79; published 07.04.81, Bul. № 13. 3 p.
 2. Control of tube material during bending and flattening-out / Kozlov A.V., Sherkunov V.G. // Control. Diagnostics. 2008. № 11.
 3. Complex research of materials of bent branches produced through bending and flattening-out/ Kozlov A.V., Sherkunov V.G. // Vestnik SUSU. Series. Machinebuilding. 2007. № 10.

УДК 621.777: 621.777:22

Беляев С.В.

СТАТИКА И ГЕОМЕТРИЯ ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ ПРИ СОВМЕЩЕННОЙ ПРОКАТКЕ-ПРЕССОВАНИИ С ОДНИМ ПРИВОДНЫМ ВАЛКОМ

В прокатном производстве применяются станы, у которых приводным является только один из валков, обычно нижний. К числу таких станов относятся тонколистовые станы штучной (пакетной) прокатки [1]. Прокатные станы с одним приводным валком имеют более простую конструкцию, и поэтому представляет практический интерес возможность их применения при совмещенной прокатке-прессовании (СПП) [2]. Процесс деформирования в этом случае будет иметь существенные особенности. Поэтому для обоснованного подхода при конструировании данных устройств и для разработки технологии предоставляется целесообразным создать математическую модель расчета основных параметров статики и очага деформации при СПП с одним приводным валком и провести теоретический анализ данного процесса.

Исследуя закономерности процесса СПП с одним приводным валком, необходимо учитывать следующее (рис. 1):

- угловая скорость вращения ω_1 неприводного валка будет задаваться самой прокатываемой заготовкой;
- крутящий момент от внешних сил на неприводном валке всегда будет равен нулю.

Силы трения на неприводном валке в зоне отставания (область калибра, где скорость деформируемого металла будет меньше скорости валка - $v_M < v_B$) должны уравновешиваться силами трения в зоне опережения (где $v_M > v_B$), силой трения $F_{тр1}^M$ на контакте с боковой поверхностью матрицы, а также моментом $M_{тр}^{III}$ от сил трения в опорах на шейках валка. Поэтому

му нейтральный угол на неприводном валке всегда будет больше половины угла захвата: $\gamma_1 \geq \alpha_1/2$.

На приводном валке зона опережения будет значительно меньше зоны отставания для обеспечения втягивающих сил при осуществлении процесса СПП. Поэтому нейтральный угол на приводном валке всегда будет значительно меньше, чем на неприводном валке: $\gamma_2 \ll \gamma_1$.

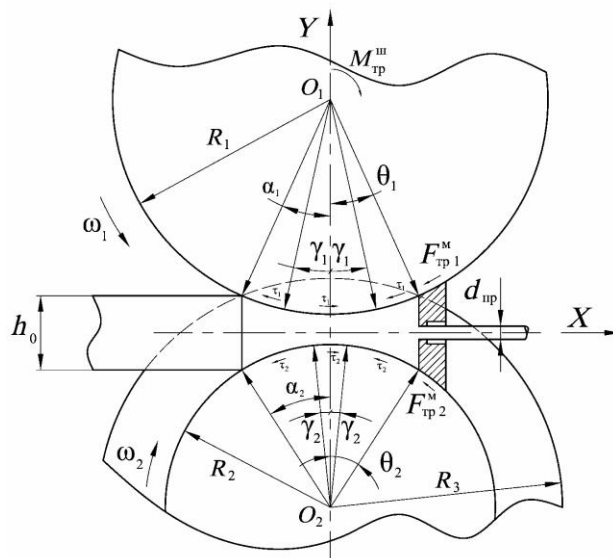


Рис. 1. Схема сил, действующих на валки, при установившемся процессе СПП с одним приводным валком

Приведенные рассуждения подтвердим математическим анализом.

Сначала определим нейтральный угол γ_1 на не-приводном валке. Для этого составим уравнение равновесия моментов внешних сил, действующих на не-приводной валок относительно его оси вращения O_1 (см. **рис. 1**):

$$\sum_{i=1}^n m_{O_1}(F_i^E) = bR_1^2 \tau_1 [-(\alpha_1 - \gamma_1) + \gamma_1(1 + K_\sigma) - K_\sigma(\theta_1 - \gamma_1)] - M_{TP}^{III} - F_{TP1}^M R_1 = 0, \quad (1)$$

где τ_1 – касательные контактные напряжения на контактной поверхности неприводного валка и деформируемого металла; b – ширина калибра; $\alpha_i, \theta_i, \gamma_i$ – центральные углы захвата, положения матрицы, нейтрального сечения на валках; $K_\sigma = \sigma_{S\theta} / \sigma_{S\alpha}$; $\sigma_{S\alpha}$ и $\sigma_{S\theta}$ – сопротивление металла деформации в зонах прокатки (до оси O_1O_2) и прессования (после оси O_1O_2); M_{TP}^{III} – момент от сил трения в опорах на шейках неприводного валка; F_{TP1}^M – сила трения на контакте неприводного валка с боковой поверхностью матрицы.

Методика определения момента от сил трения в опорах на шейках рабочих валков при прокатке представлена в работе [3]:

$$M_{TP}^{III} = 4F_{TP}^{III} d_{III} / 2. \quad (2)$$

Диаметр шейки валка обычно равен $d_{III} = 1,1R$. Если считать, что в среднем усилие процесса СПП, приходящееся на шейку валков, равно половине усилия на каждый валок, то тогда сила трения на шейке валка будет равна: $F_{TP}^{III} = f_{III} P_B / 2$, где f_{III} – коэффициент трения в шейках валков (для наиболее распространенных текстолитовых подшипников можно принять равным $f_{III} \approx 0,05$).

Окончательно момент от сил трения в опорах на шейках рабочих валков будет равен:

$$M_{TP}^{III} = f_{III} P_B d_{III}. \quad (3)$$

Для определения силы трения F_{TP1}^M на контакте неприводного валка с боковой поверхностью матрицы рассмотрим равновесие матрицы во время установившегося процесса СПП (**рис. 2**):

$$\sum_{i=1}^n F_{ix} = P_{ПРЕСС} + F_{TP1}^M \cos \delta_1 + N_1 \sin \delta_1 + \quad (4)$$

$$+ F_{TP2}^M \cos \delta_2 + N_2 \sin \delta_2 - P_{ПОД} = 0;$$

$$\sum_{i=1}^n F_{iy} = N_2 \cos \delta_2 - F_{TP2}^M \sin \delta_2 - \quad (5)$$

$$- N_1 \cos \delta_1 + F_{TP1}^M \sin \delta_1 = 0.$$

Силы трения на контакте валков с боковой поверхностью матрицы подчиняются закону Амонтона-Кулона, т.е.:

$$F_{TP1}^M = f_{M1} N_1; \quad F_{TP2}^M = f_{M2} N_2, \quad (6)$$

где f_{M1} и f_{M2} – коэффициенты трения на границе контакта валков с боковой поверхностью матрицы соответственно.

Решая систему уравнений (4) и (5), получим:

$$N_2 = N_1 \frac{\cos \delta_1 - f_{M1} \sin \delta_1}{\cos \delta_2 - f_{M2} \sin \delta_2}; \quad (7)$$

$$N_1 = (P_{ПОД} - P_{ПРЕСС}) / \left[f_{M1} \cos \delta_1 + \sin \delta_1 + \frac{(f_{M2} \cos \delta_2 + \sin \delta_2)(\cos \delta_1 - f_{M1} \sin \delta_1)}{\cos \delta_2 - f_{M2} \sin \delta_2} \right]. \quad (8)$$

При изготовлении матриц для СПП обычно заходные углы выполняют равными между собой – $\delta_1 = \delta_2$, и коэффициенты трения на границе контакта валков с боковой поверхностью матрицы практически мало отличаются друг от друга. Поэтому силы трения на контакте валков с боковой поверхностью матрицы можно допустить, что будут равны между собой:

$$F_{TP1}^M = F_{TP2}^M = \frac{f_M (P_{ПОД} - P_{ПРЕСС})}{2(f_M \cos \delta + \sin \delta)}. \quad (9)$$

Подставив найденные значения в уравнение (1), определим нейтральный угол γ_1 на неприводном валке:

$$\gamma_1 = \frac{1}{2(1 + K_\sigma)} \left(\frac{1,1 f_{III} P_B + F_{TP}^M}{bR_1 \tau_1} + \alpha_1 + K_\sigma \theta_1 \right). \quad (10)$$

Для нахождения нейтрального угла на приводном валке воспользуемся уравнением моментов сил, действующих на деформируемый металл, относительно центра O_2 нижнего валка, представленного в работе [4]:

$$\begin{aligned} \gamma_1 \frac{R_1 \tau_1 (1 + h_1 / R_2)}{R_2 \tau_2} + \gamma_2 \left[1 + \frac{2h_1 \tau_k (1 + h_1 / 2R_2)^2}{b\tau_2} \right] = \\ = - \frac{P_{ПРЕСС} (1 + h_1 / 2R_2)}{4bR_2 \tau_2} - \frac{R_1 D}{8R_2^2 \tau_2} (p_{1\alpha} \alpha_1^2 - p_{1\theta} \theta_1^2) + \\ + \frac{R_1 \tau_1 (1 + h_1 / R_2)}{4R_2 \tau_2} (\alpha_1 + K_\sigma \theta_1) + \\ + \left[1 + \frac{2h_1 \tau_k (1 + h_1 / 2R_2)^2}{b\tau_2} \right] \frac{\alpha_2 + K_\sigma \theta_2}{4}, \end{aligned} \quad (11)$$

где $D = R_1 + R_2 + h_1$; R_1, R_2 – катающие радиусы верхнего неприводного (индекс 1) и нижнего приводного (индекс 2) валков соответственно; h_1 – зазор между валками при прокатке; $p_{1\alpha}, p_{1\theta}$ – нормальные контактные напряжения на валках в зоне прокатки и прессования; $P_{ПРЕСС}$ – усилие выдавливания профиля через матрицу [5].

Подставляя найденное значение γ_1 в уравнение (11), можно определить нейтральный угол на приводном валке:

$$\gamma_2 = \frac{1}{1 + \frac{2h_1\tau_k}{b\tau_2} \left(1 + \frac{h_1}{2R_2}\right)^2} \times \left\{ -\frac{P_{\text{ПРЕСС}}(1 + h_1/2R_2)}{4bR_2\tau_2} - \frac{R_1D}{8R_2^2\tau_2} (p_{1\alpha}\alpha_1^2 - p_{1\theta}\theta_1^2) + \frac{\alpha_2 + K_\sigma\theta_2}{4} \left[1 + \frac{2h_1\tau_k(1 + h_1/2R_2)^2}{b\tau_2}\right] + \frac{R_1\tau_1(1 + h_1/R_2)(K_\sigma - 1)(\alpha_1 + K_\sigma\theta_1)}{R_2\tau_2(1 + K_\sigma)} - \frac{(1 + h_1/R_2)(1,1f_{\text{ш}}P_B + F_{\text{ТР}}^M)}{2bR_2\tau_2(1 + K_\sigma)} \right\} \quad (12)$$

Разработанную математическую модель геометрии и статики очага деформации при СПП с одним приводным валком используем для проведения теоретических исследований в сравнении СПП с двумя приводными валками.

При проведении теоретического анализа определим следующее:

1. Влияние на распределение нейтральных углов на валках γ_1 и γ_2 : размеров и соотношения радиусов валков R_1/R_2 ($R_1 > R_2$); относительного обжатия $\varepsilon_n = \Delta h/h_0$; коэффициента вытяжки $\lambda_{\text{ПР}}$ при выдавливании профиля через канал матрицы; удаления

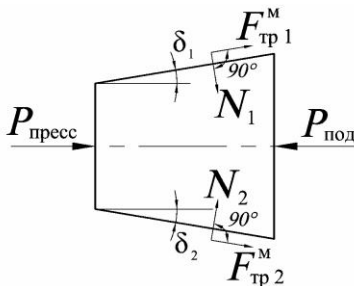


Рис. 2. Схема сил, действующих на матрицу при СПП

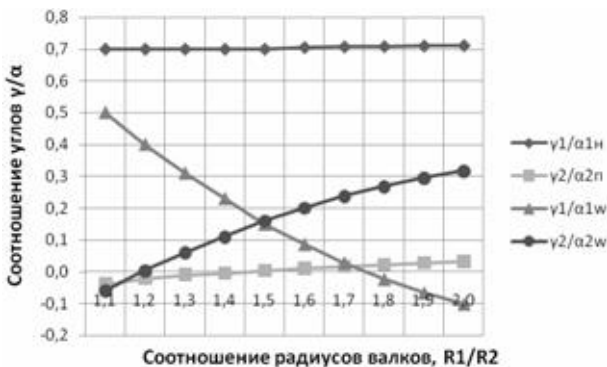


Рис. 3. Зависимость соотношений нейтральных углов на валках с одним приводным валком (индексы «Н» и «П») и с двумя приводными валками (индекс «W») от соотношения R_1/R_2 ($R_2=80$ мм) при относительном обжатии $\varepsilon_n=50\%$

матрицы от оси прокатки.

Последний параметр – удаление матрицы от оси прокатки, для повышения наглядности и удобства вычислений представим через соотношение центральных углов захвата α и угла положения матрицы $\theta - \theta/\alpha$.

2. Области возможной реализации процесса СПП, исходя из следующих ограничений:

- соблюдения условий захвата заготовки валками;
- нейтральные углы на валках всегда должны быть:
 - положительны $-\gamma_i \geq 0$;
 - меньше углов захвата и положения матрицы $-\gamma_i \leq \alpha_i$ и $\gamma_i \leq \theta_i$.

Диапазон изменения варьируемых параметров был выбран с учетом результатов промышленной апробации установок СПП с двумя приводными валками. Исследования проводились для двух размеров валка меньшего радиуса $R_2 - 80$ и 160 мм на десяти уровнях соотношений радиусов валков $R_1/R_2 -$ от $1,1$ до $2,0$ с шагом $0,1$; при четырех значениях относительного обжатия $\varepsilon_n = \Delta h/h_0, \% - 40; 50; 60; 70$; при восьми значениях относительного положения матрицы $\theta/\alpha -$ с $0,25$ до $2,00$ с шагом $0,25$; при семи величинах коэффициента вытяжки $\lambda_{\text{ПР}} -$ с 4 до 16 с шагом 2 . Во всех случаях заготовка была квадратного сечения размерами $h_0 \times b_0 = 20 \times 20$ мм. Прокатка проходила без защемления – ширина калибра и заготовки были равны $-b_0 = b_k$. Коэффициент трения для валков принимался одинаковым и равным $\mu = 0,5$, а диаметр выдавливаемого прутка $-d_{\text{ПР}} = 9,0$ мм. Приводной валок вращался с угловой скоростью $n = 4$ об/мин. В качестве деформируемого металла выбрали алюминиевый сплав АД31 с уравнением реологии, представленным в работе [6]. Температура деформации принималась равной 480°C .

При исследовании влияния размеров валков, соотношений радиусов валков и относительного обжатия на параметры СПП высота матрицы принималась равной высоте заготовки $h_M = h_0 = 20$ мм, т.е. $\theta/\alpha = 1$, а вытяжка была равной $\lambda_{\text{ПР}} = 6,0$.

При установлении зависимостей параметров СПП от θ/α относительное обжатие и соотношения радиусов валков оставались постоянными и равными соответственно $\varepsilon_n = 50\%$ и $R_1/R_2 = 1,4$. Диаметр выдавливаемого прутка также не изменялся и во всех случаях оставался равным $d_{\text{ПР}} = 9,0$ мм, что вызывало рост вытяжки с удалением положения матрицы от оси прокатки.

Влияние вытяжки на параметры СПП исследовали при следующих постоянных значениях параметров: $\theta/\alpha = 1$, $\varepsilon_n = 50\%$ и $R_1/R_2 = 1,4$, а диаметр прутка изменялся.

Результаты исследований представлены в виде графиков на рис. 3–5.

Анализируя полученные зависимости в исследуемом диапазоне, можно отметить следующее:

1. Во всех случаях абсолютное и относительное значения нейтрального угла на неприводном валке значительно больше, чем на приводном валке $-\gamma_{1n} > \gamma_{2n}$.

2. С увеличением соотношений радиусов валков R_1/R_2 , центральных углов положения матрицы и захвата θ/α и вытяжки $\lambda_{\text{ПР}}$ абсолютные и относительные значе-

Влияние соотношения радиусов валков на реализацию процесса СПП

Относительное обжатие $\varepsilon_h, \%$		40	50	60	70
$R_2/h_0 = 4$	н/п	-	$R_1/R_2 > 1,4$	$R_1/R_2 > 1,2$	$R_1/R_2 > 1,3$
	w	$R_1/R_2 > 1,8$	$1,1 < R_1/R_2 < 1,8$	$R_1/R_2 > 1,5$	$R_1/R_2 > 1,6$
$R_2/h_0 = 8$	н/п	$1,1 < R_1/R_2 < 2,0$	$1,1 < R_1/R_2 < 2,0$	$1,1 < R_1/R_2 < 2,0$	-
	w	$1,1 < R_1/R_2 < 2,0$	$R_1/R_2 < 1,4$	-	-

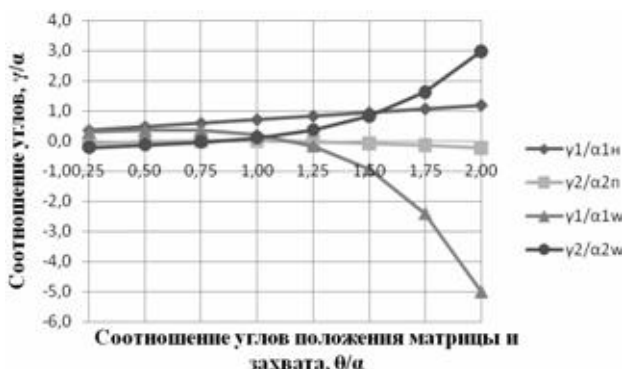


Рис. 4. Зависимость соотношений нейтральных углов на валках с одним приводным валком и с двумя приводными валками от соотношения центральных углов положения матрицы и захвата θ/α ($R_2=80$ мм) при $R_1/R_2=1,4$ и относительном обжатии $\varepsilon_h=50\%$

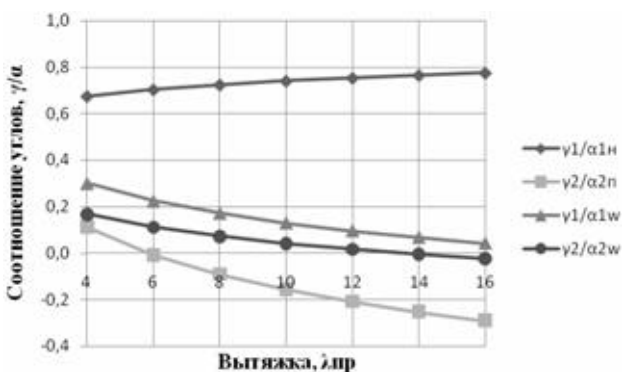


Рис. 5. Влияние вытяжки λ_{PP} на соотношения нейтральных углов на валках при $R_1/R_2=1,4$ ($R_2=80$ мм), $\theta/\alpha=1$, относительном обжатии $\varepsilon_h=50\%$

ния нейтральных углов на неприводном валке увеличиваются, а на приводном валке уменьшаются.

3. Учитывая условия для реализации процесса СПП, в исследуемом диапазоне параметров были определены следующие рабочие области СПП с одним (индекс «н/п») и двумя (индекс «w») приводными валками в зависимости от соотношения радиусов валков R_1/R_2 (см. таблицу).

4. Реализация процесса СПП возможна только в определенном диапазоне θ/α :

- с одним приводным валком: для $R_2/h_0=4,0 - 0,5 < \theta/\alpha < 1,0$ и для $R_2/h_0=8,0 - 0,5 < \theta/\alpha < 1,75$;
- с двумя приводными валками: для $R_2/h_0=4,0 -$

$0,75 < \theta/\alpha < 1,25$ и для $R_2/h_0=8,0 - 1,0 < \theta/\alpha < 1,75$.

5. В обоих случаях СПП при достижении предельных значений вытяжки λ_{PP} реализация процесса становится невозможной:

- с одним приводным валком: для $R_2/h_0=4,0 - \lambda_{PP} < 6$ и для $R_2/h_0=8,0 - \lambda_{PP} < 16$;
- с двумя приводными валками: для $R_2/h_0=4,0 - \lambda_{PP} < 14$ и для $R_2/h_0=8,0 - \lambda_{PP} < 6$.

6. Увеличение соотношения R_2/h_0 приводит к увеличению рабочего диапазона процесса СПП с одним приводным валком, но при этом происходит увеличение усилия на валках в 1,5 раза.

Библиографический список

1. Грудев А.П. Теория прокатки: учебник для вузов. М.: Металлургия, 1988. 240 с.
2. Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Загиров Н.Н. Комбинированные и совмещенные методы обработки цветных металлов и сплавов: монография. М.: МАКС Пресс, 2005. 344 с.
3. Смирнов В.К., Шилов В.А., Игатович Ю.В. Калибровка прокатных валков: учебное пособие для вузов. М.: Металлургия, 1987. 368 с.
4. Беляев С.В. Статика и геометрия асимметричного очага деформации при совмещенной прокатке-прессовании // Научная жизнь. 2008. №4. С. 14-20.
5. Ерманок М.З., Фейгин В.И., Сухоруков Н.А. Прессование профилей из алюминиевых сплавов. М.: Металлургия, 1977. 264 с.
6. Вывод уравнений связи свойств алюминиевых сплавов с параметрами горячего деформирования / Я.М. Охрименко, В.Н. Щерба, А.В. Недугов, А.К. Корнаухов, А.С. Боровиков // Цветные металлы. 1983. № 2. С. 66-69.

List of literature

1. Grudev A.P. The Theory of Rolling: the textbook for Universities. M.: Metallurgy, 1988. 240 p.
2. Sidelnikov S.B., Dovzhenko N.N., Zagirov N.N. Combined methods of non-ferrous metals processing: the monograph. M.: MAKS Press, 2005. 344 p.
3. Smirnov B.K., Shilov V.A., Ignatovich J.V. Grooving of rolls: the tutorial for universities. M.: Metallurgy, 1987. 368 p.
4. Belyaev S.V. The Statics and Geometry of Asymmetrical Deformation Zone during Combined Rolling and Pressing // Nauchnaya zhiznj. 2008. № 4. pp. 14-20.
5. Ermanok M.Z., Feigin V.I., Suhorukov N.A. Pressing of profiles made of aluminium alloys. M.: Metallurgy, 1977. 264 p.
6. Derivation of Equations Expressing Correlations between Properties of aluminium alloys and characteristics of hot working / Y.M. Ohrimenko, V.N. Scherba, A.V. Nedugov, A.K. Kornauhov, A.S. Borovikov // Non-ferrous Metals. 1983. № 2. pp 66-69.

ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ

УДК 669.017.3:621.791.75

Кусков В.Н., Зябкин О.В., Крылов А.П., Потапов Д.А.

ТЕРМИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСНОЙ СВАРКИ МЕТОДОМ STT НА СТРУКТУРУ СОЕДИНЕНИЯ

При сооружении и ремонте трубопроводов всё более широкое применение находит импульсная полуавтоматическая сварка в среде защитных газов методом STT (в переводе с английского «Surface Tension Transfer» – перенос силами поверхностного натяжения). В процессе сварки в зависимости от состояния дугового промежутка, связанного с ростом капли, её контакта с металлической ванной, образования шейки и отрыва от электродной проволоки, электроника источника питания резко или плавно изменяет величину сварочного тока. Технология STT обеспечивает мелкокапельный перенос электродного металла за счет сил поверхностного натяжения расплава. Это позволяет резко снизить уровень разбрызгивания, излучения и дымообразования, повысить стабильность горения дуги при изменении вылета электрода во время сварки, уменьшить тепловложение в свариваемые детали, облегчить технику выполнения шва.

Качественное соединение можно получить, правильно выбрав комплекс параметров сварки: базовый ток I_b , пиковый ток I_n , длительность заднего фронта импульса («Tailout») Tl (его значение задается в интервале от 0 до 10 и характеризует скорость снижения тока от пикового до базового после начального момента ускоренного роста новой капли), скорость сварки V , скорость подачи электродной проволоки $V_{эл}$ и т.д. Однако в научнотехнической литературе приводятся лишь основные принципы выбора параметров сварки методом STT и не рассмотрено их влияние на тепловложение в металл и структуру соединения.

В работе рассчитали величины тепловложения в трубный металл при наплавке валика в нижнем положении на пластины стали 09Г2С размером 500×200×7 мм. Наплавку выполнили с помощью инверторного источника Invertex STT II сварочной проволокой Св-08Г2С диаметром 1,2 мм. Расход углекислого газа составил 12 л/мин. Для контроля электрических параметров сварки с выбранной частотой дис-

кретизации применили мобильный регистратор технологических процессов MPC-01, а для фиксации температурных полей на обратной поверхности пластины – тепловизор Fluke Ti30 со светофильтром. Микротвердость измеряли на приборе ПМТ-3М при нагрузке на индентор 1,96 Н.

По регистрограммам, примеры которых приведены на рис. 1 (дробные значения величин по осям автоматически назначает программа «Telma Registrator», которая используется в приборе MPC-01 для обработки данных), оценили влияние базового тока (в интервале 45–70 А), пикового тока (в интервале 220–340 А) и величины Tailout (в интервале от 0 до 10) на суммарное тепловложение в металл Q .

$$Q = I_{cp} \cdot U_{cp} \cdot t, \quad (1)$$

где I_{cp} и U_{cp} – средние значения сварочного тока и напряжения дуги; t – время.

Поскольку при сварке методом STT сила сварочного тока и напряжение дуги меняются значительно в течение короткого промежутка времени, расчет по

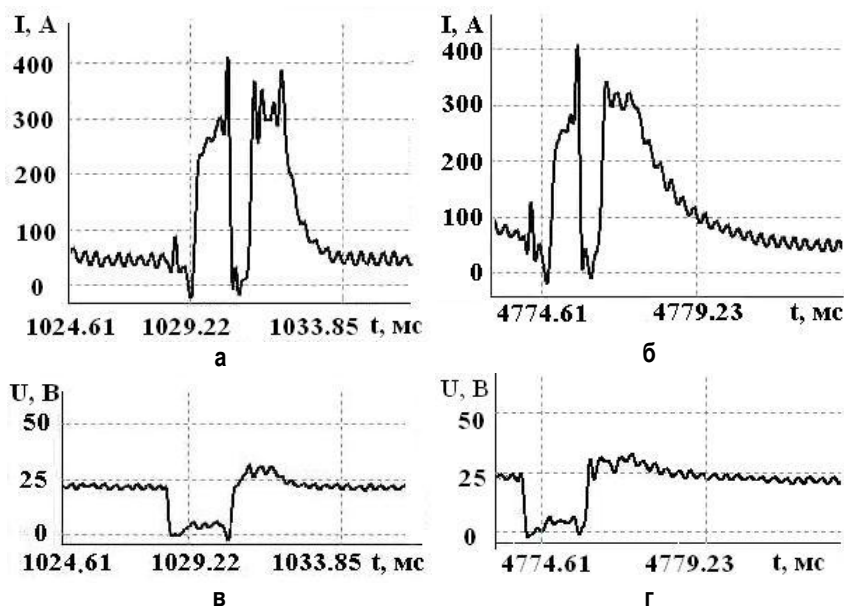


Рис. 1. Примеры регистрограмм сварочного тока (а, б) и напряжения дуги (в, г) при сварке методом STT:

а, в – $I_n=340$ А, $I_b=57$ А, Tailout = 2; б, г – $I_n=340$ А, $I_b=57$ А, Tailout = 8

формуле (1) весьма затруднен. Для определения средних величин указанных параметров выполняли графическое интегрирование 10–15 регистрограмм, полученных при заданных параметрах сварки, делили полученную величину на длительность одного цикла каплеобразования, а затем вычисляли среднее арифметическое значение. Результаты расчета суммарного тепловложения приведены на рис. 2.

Параметр Tailout вносит заметный вклад в значение I_{cp} . В зависимости от длительности заднего фронта импульса величина силы тока после пикового значения изменяется по экспоненциальному закону:

$$I = I_n e^{dt}, \quad (2)$$

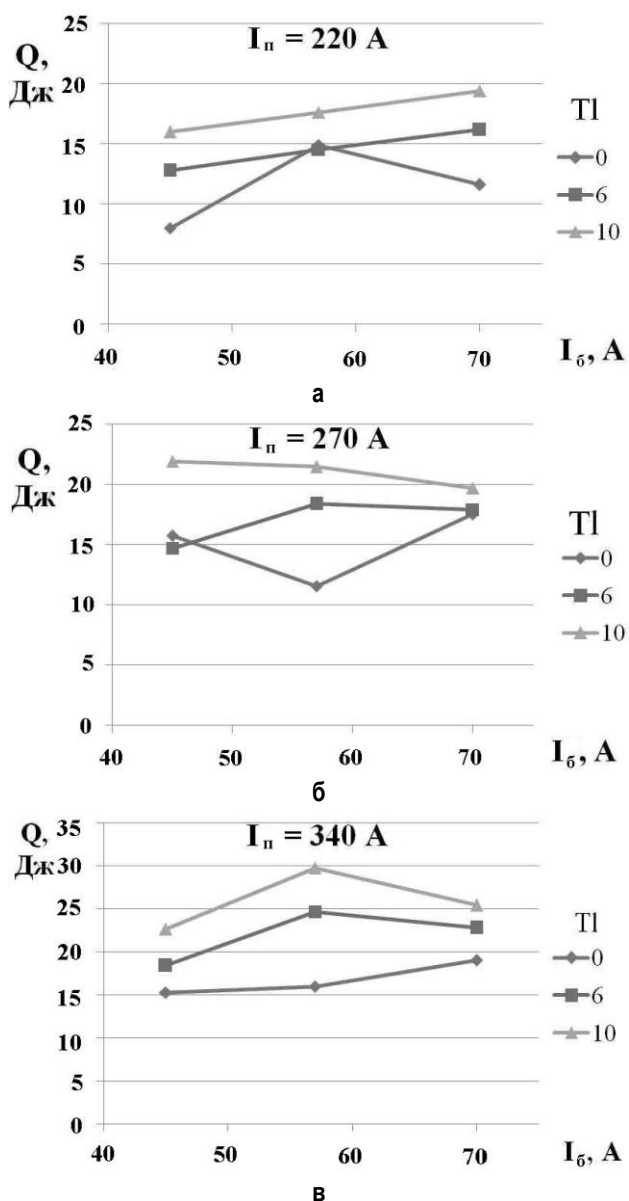


Рис. 2. Влияние силы базового тока на суммарное тепловложение в металл при формировании единичной капли при различных значениях пикового тока: а – $I_n = 220$ А; б – $I_n = 270$ А; в – $I_n = 340$ А

где d – коэффициент, зависящий от величины Tailout.

В таблице приведены параметры формулы, рассчитанные средние значения тока I_{cp} и процент их изменения по сравнению с величиной I_{cp} при длительности заднего фронта импульса, соответствующего нулевому положению переключателя «Tailout». Максимальное увеличение среднего значения тока при изменении Tl от 0 до 10 составляет 5,4–27,4% (в зависимости от конкретных параметров I_0 и I_n).

Следует отметить случаи совпадения или незначительного отличия величин суммарного тепловложения на рис. 2 при различных значениях I_0 , I_n и Tl , т.к. электроника источника питания благодаря взаимосвязи с состоянием дугового промежутка автоматически регулирует в некоторых пределах заданные параметры, чтобы обеспечить благоприятные условия формирования сварочной ванны и облегчить процесс выполнения качественного шва.

В соответствии с полным факторным планом для линейной модели установили следующее уравнение регрессии, в котором все коэффициенты значимы:

$$Q = -10,335 + 0,135 \cdot I_0 + 0,057 \cdot I_n + 0,737 \cdot Tl. \quad (3)$$

Модель адекватна, т.к. расчетный критерий Фишера меньше табличного для доверительной вероятности 0,95. Полученное уравнение позволяет оценивать суммарное тепловложение при сварке методом STT без проведения наплавки (с учетом тепла, затрачиваемого на образование и нагрев капли, а также теплопотерь с защитным газом, излучением, теплоотдачей с поверхностью пластины).

При определении распределения температурного поля на обратной стороне пластины в соответствии с известными апробированными методиками приняли схему движущегося точечного источника на поверхности плоского слоя. Отражение теплового потока от нижней и боковых поверхностей слоя учли введением фиктивных источников теплоты, которые расположены по правилу зеркального отражения, т.е. расстояние от отражающей поверхности до фиктивного источника равно реальному расстоянию до действительного источника:

$$\Delta T = \sum_{i=1}^n \frac{q}{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot R_i} \cdot e^{-\sqrt{a} \frac{R_i + X}{2 \cdot a}} - \frac{bX}{V}, \quad (4)$$

где q – тепловая мощность дуги; λ – коэффициент теплопроводности материала пластины; R_i – расстояния от рассматриваемой точки до действительного и фиктивных источников теплоты; a – коэффициент температуропроводности; b – коэффициент теплоотдачи.

Расчеты показали, что максимальная температура на обратной поверхности пластины (противоположной месту горения дуги) при наплавке методом STT не превышает 770°C , что подтверждено термограммами, полученными с помощью тепловизора (рис. 3; различные температуры отображаются различным цветом, центральное светлое пятно соответствует нагреву выше 700°C). Анализ термограмм показал, что при наплавке методом STT протяженность теплового поля выше 700°C на ~ 25% меньше, чем при исполь-

Характерные параметры сварки методом STT

Сила пикового тока I_n , А	Сила базового тока I_b , А	Величина Tailout								
		0			6			10		
		d	l_{cp}	%	d	l_{cp}	%	d	l_{cp}	%
220,00	45,00	2,78	81,14	0,77	85,74	5,36	0,51	88,94	8,76	
	57,00	2,46	89,74	0,73	104,43	14,07	0,51	108,97	17,65	
	70,00	2,11	105,38	0,62	117,63	10,42	0,39	121,18	13,05	
270,00	45,00	3,06	93,34	0,85	98,66	5,38	0,58	105,15	11,23	
	57,00	2,57	102,34	0,70	109,63	6,65	0,49	117,03	12,55	
	70,00	2,45	106,19	0,62	119,96	11,00	0,44	125,78	15,57	
340,00	45,00	2,73	102,60	0,74	110,60	7,23	0,52	125,25	18,08	
	57,00	2,97	103,46	0,72	123,54	16,25	0,45	139,24	25,70	
	70,00	2,56	106,59	0,81	124,24	14,21	0,46	146,86	27,42	

зовании ручной дуговой сварки (РДС). Это обусловлено повышенной эффективной тепловой мощностью, передаваемой в металл, по сравнению с методом STT. Уменьшение зоны термического воздействия, в свою очередь, приводит к снижению остаточных напряжений в сварном шве и околошовной зоне.

На рис. 4 представлены продольные шлифы сварных соединений, полученных при различных параметрах наплавки методом STT. На снимках четко различаются три участка:

а) основной металл (1), имеющий мелкозернистую, строчечную ферритно-перлитную структуру с микротвердостью от 181 до 195 МПа; высота участка при увеличении скорости сварки почти не изменяется и составляет порядка 3,5 мм;

б) зона термического воздействия, состоящая из двух полос: основной (2), представленной мелкозернистой ферритно-перлитной структурой (микротвердость 162–192 МПа), которая при увеличении скорости сварки уменьшается от 1,5 до 0,5 мм; и полосой нормализации (3), структура которой состоит из перлита и небольшого количества феррита с микротвердостью от 184 до 220 МПа; появление такой структуры можно связать с охлаждающим воздействием ос-

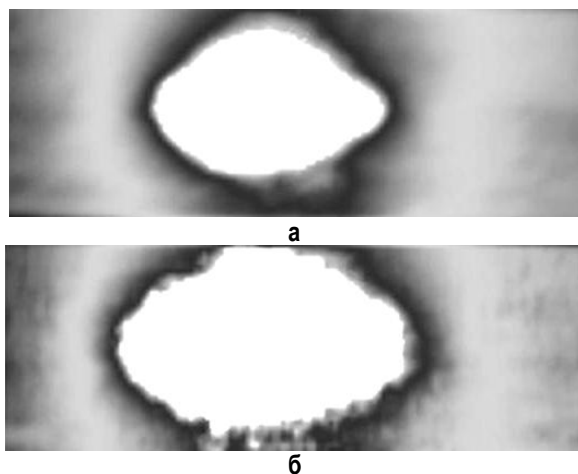


Рис. 3. Термограммы распределения температуры на обратной стороне пластин стали 09Г2С при наплавке валика методами STT (а) и РДС (б)

нового металла;

в) металл шва (4), который имеет структуру верхнего бейнита с полосами феррита и перлита с микротвердостью от 220 до 265 МПа; изменение высоты участка 4 происходит, в основном, за счет изменения высоты наплавленного валика.

Рассмотренное строение характерно для всех исследованных образцов. Различие состоит только в изменении высоты участков. На основе экспериментальных данных определили влияние параметров наплавки на величину зоны термического воздействия (ЗТВ).

Увеличение скорости сварки с 15 до 22 м/ч вызывает значительное уменьшение ЗТВ, а также уменьшение полосы нормализации металла вплоть до полного исчезновения.

Изменение силы базового тока в интервале от 50 до 70 А вызывает одновременное изменение размеров всех участков. С увеличением I_b уменьшается полоса нормализации вплоть до небольших скоплений, а участок 4 со структурой верхнего бейнита увеличивается, что, несомненно, связано с увеличением тепловложения в металл от электрической дуги.

При изменении силы пикового тока с 300 до 400 А наблюдали незначительное изменение глубины участка основного металла, которое составило порядка 0,5 мм. Это обусловлено минимальным влиянием данного параметра на изменение суммарного тепловложения в свариваемый материал. Повышение I_n приводит к увеличению длины дуги и формированию более плоской внешней поверхности шва.

Увеличение скорости подачи сварочной проволоки

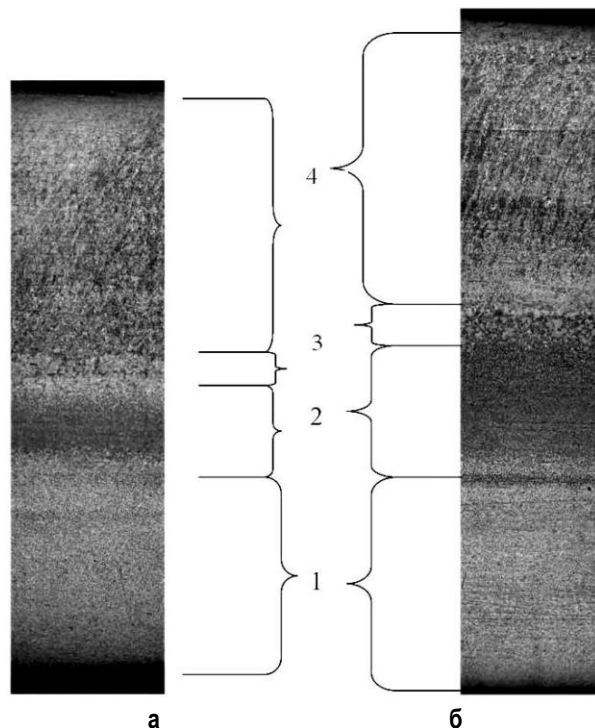


Рис. 4. Микрофотографии сварных соединений, выполненных методом STT при $I_b = 55$ А, $I_n = 400$ А, $TI = 6$, $V_{эл} = 120$ м/ч, $V = 20$ м/ч (а) и $V = 15$ м/ч (б)

со 110 до 130 м/ч каких-либо значимых изменений структуры не вызвало. Величина $V_{э}$ не влияет на суммарное тепловложение, т.к. электроника источника питания автоматически регулирует напряжение дуги при изменении скорости подачи сварочной проволоки.

Механические свойства обусловлены структурой металла и в среднем составляют: предел прочности на разрыв $\sigma_{вр}=509$ МПа, условный предел текучести $\sigma_{02}=335$ МПа, твердость 50 HRC.

Выводы

1. По регистрограммам электрических параметров импульсной сварки методом STT установили уравнение регрессии, по которому можно определить суммарное тепловыделение в зависимости от длительности заднего фронта импульса, базового и пикового токов без проведения эксперимента, что позволяет

подбирать параметры сварки с ограниченным тепловложением в свариваемый металл.

2. Расчеты показали, что максимальная температура на обратной поверхности пластины при наплавке методом STT не превышает 770°C , что подтверждено термограммами, полученными с помощью тепловизора Fluke Ti30. Протяженность теплового поля выше 700°C при наплавке методом STT в большинстве случаев на 25% меньше, чем при использовании ручной дуговой сварки.

3. Экспериментально установлено, что основное влияние на изменение структуры наплавленного и основного металла оказывают скорость сварки и сила базового тока. Такие параметры, как сила пикового тока и скорость подачи электродной проволоки, оказывают минимальное влияние.

УДК 621.777:669.231.7

Рудницкий Э.А., Довженко Н.Н., Ходюков Б.П.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НОВЫХ ПАЛЛАДИЕВЫХ СПЛАВОВ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИХ ОБРАБОТКИ

Возрастающий интерес ювелирной промышленности к палладию вызван возможностью использования данного элемента как альтернативного материала «белому золоту» и платине. Палладий – новый металл в ювелирной промышленности, при этом, обладая сходными эстетическими свойствами (цвет, блеск), аффинированный палладий ниже по стоимости в сравнении с золотом и платиной. Низкая плотность в сравнении с аналогами делает изделия из палладия и его сплавов легче, ориентировочно, на 35–45% изделий из золота и платины в зависимости от легирующих компонентов. По физико-химическим и механическим свойствам палладиевые сплавы практически не уступают изделиям из платины и золота, а некоторые характеристики

даже превышают их. Так, например, повышенная твердость палладиевых сплавов придает повышенную износостойкость ювелирным изделиям. Кроме того, палладий полезен для организма человека, так как является гипоаллергенным металлом.

Несмотря на преимущества сплавов на основе палладия, они среди ювелиров России пока пользуются ограниченным спросом. Это объясняется тем, что на данный момент промышленные технологии по изготовлению ювелирных изделий и полуфабрикатов из палладия и его сплавов построены на основе технологий обработки золото- и платиносодержащих сплавов. Основное оборудование, которое применяется на современном производстве, предназначено для обработки золота и платины. Отсутствие новых технологий для изготовления конечных изделий из палладиевых сплавов и оборудования для их реализации ведет к нарушению и нестабильности технологического процесса, что снижает его эффективность.

Таким образом, актуальной является задача разработки новых сплавов и эффективных технологии производства проволок тонких сечений из новых сплавов на основе исследований их свойств и структуры, удовлетворяющих требованиям, предъявляемым к полуфабрикатам для автоматной вязки цепей.

Критериями этих разработок является повышенный уровень механических свойств (например, относительное удлинение до 50%), высокая коррозионная стойкость и отражательная способность, хорошая обрабатываемость и полировка, отсутствие цветов побежалости, возможность аргоно-дуговой сварки проволоки при изготовлении цепей.

Технология получения новых сплавов включает в себя использование легирующих элементов в виде серебра, золота, меди, родия, молибдена, титана в различной их комбинации. Состав экспериментальных палладиевых сплавов с содержанием палладия 85%

Составы экспериментальных сплавов палладия 850 пробы

Номер сплава	Содержание компонентов, % (масс.)						
	Палладий	Серебро	Золото	Медь	Родий	Молибден	Титан
1	85,0	15,0	–	–	–	–	–
2	85,0	13,0	2,0	–	–	–	–
3	85,0	3,0	2,0	10,0	–	–	–
4	85,0	13,0	–	2,0	–	–	–
5	85,0	2,0	–	13,0	–	–	–
6	85,0	14,8	–	–	–	0,3	–
7	85,0	14,5	–	–	0,5	–	–
8	85,0	14,2	–	–	0,5	0,3	–
9	85,0	12,5	2,0	–	0,5	–	–
10	85,0	12,2	2,0	–	0,5	0,3	–
11	85,0	3,0	2,0	9,2	0,5	0,3	–
12	85,0	12,5	–	2,0	0,5	–	–
13	85,0	12,2	–	2,0	0,5	0,3	–
14	85,0	2,0	–	12,2	0,5	0,3	–
15	85,0	–	2,0	13,0	–	–	–
16	85,0	–	2,0	12,0	0,5	–	0,5

представлен в **таблице** [1].

Выбор граничных значений содержания легирующих компонентов обусловлен следующим. Содержание меди в пределах 2–13 мас.% является оптимальным для замещения палладия в сплаве. Добавка молибдена в пределах 0,3 мас.% может рассматриваться в качестве модифицирующей, измельчая зерно сплава, что приводит к улучшению качества изделий, полученных методом литья и обработки давлением.

Родий в пределах 0,5 мас.% наряду с проявляющимся модифицирующим действием является упрочняющей добавкой, повышающей антикоррозионные свойства сплава, препятствующей взаимодействию сплава с формомассой и улучшающей (осветляющей) цветовую гамму сплава. Титан в пределах 0,5 мас.% снижает эффект газовыделения при сварке звена цепи путем связывания части газовых примесей в устойчивые химические соединения. Кроме того, наличие в сплаве серебра, золота и меди в указанных количествах обеспечивает снижение температуры литья на 50–100°C.

Экспериментальные исследования литых заготовок и деформированных образцов проведены на основании технологии получения проволочных полуфабрикатов. Технологическая схема представляет собой многостадийную операцию, включающую в себя шихтовку компонентов сплава, литье, протяжку литого слитка (ковка), сортовую прокатку и волочение с промежуточными отжигами (**рис. 1**).

Структурные исследования образца в литом состоянии показали, что на плоском полированном шлифе без травления (**рис. 2, а**) наблюдаются темные точки, соот-

ветствующие микропорам, образующимся при литье. После травления (**рис. 2, б**) в микроструктуре выявляется относительно равномерно распределенная гетерогенность, свидетельствующая об образовании дендритной ликвации (химической неоднородности по сечению дендритных ячеек), образующейся обычно в любых сплавах типа твердых растворов в результате подавления диффузионных процессов, которыми должны сопровождаться процессы кристаллизации в период охлаждения кристаллизующего металла в литейной форме.

Модифицирование сплава молибденом значительно измельчает структуру сплава. В лабораторных условиях сплав № 1 модифицировали молибденом в количестве 0,3% (вес.). При этом устойчивость химической неоднородности в таком тройном сплаве оказывается выше, чем в двухкомпонентном сплаве, поскольку после отжига при температуре 1050°C даже с выдержкой 3 ч структура дендритного характера сохраняется и оказывается сильно выраженной (**рис. 3**).

Механические свойства деформированных полуфабрикатов из разработанных палладиевых сплавов характеризуются высокими пластическими показателями, позволяющими деформировать заготовку до $\epsilon_{\text{сум}}=90\%$ и выше без промежуточных отжигов, что характеризует сплавы как высокотехнологичные. Палладиевые сплавы, содержащие в своем составе серебро, имеют высокие прочностные характеристики, добавление в состав таких компонентов, как золото и медь понижает предел прочности, причем полное исключение из состава сплава серебра приводит к значительному снижению величины временного со-

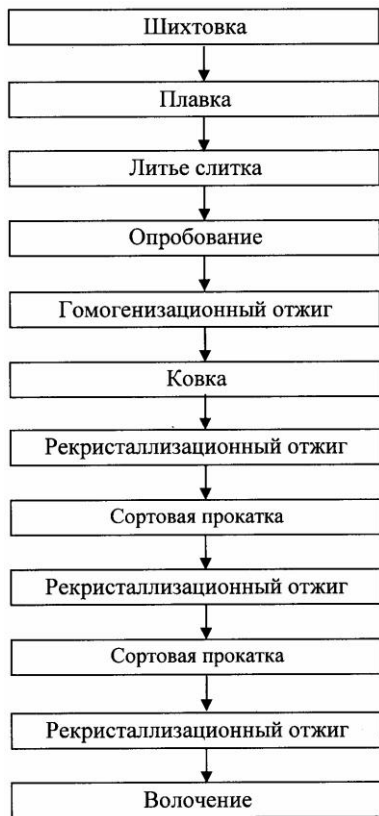


Рис. 1. Технология получения проволоки

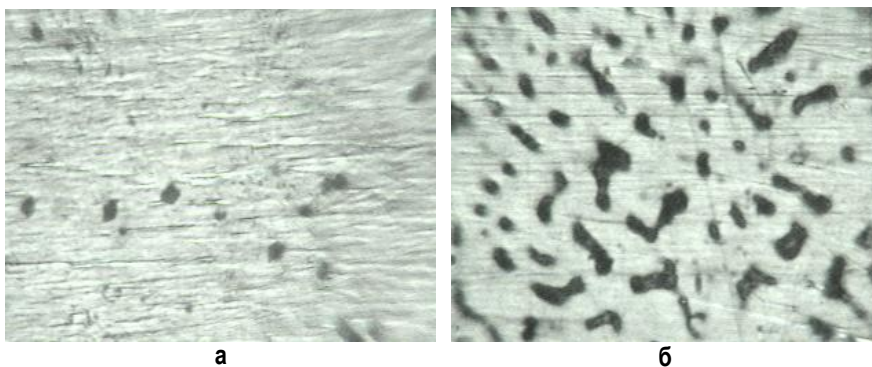


Рис. 2. Структуры образцов сплава № 1, увеличение $\times 120$: а – образец без травления; б – протравленный образец

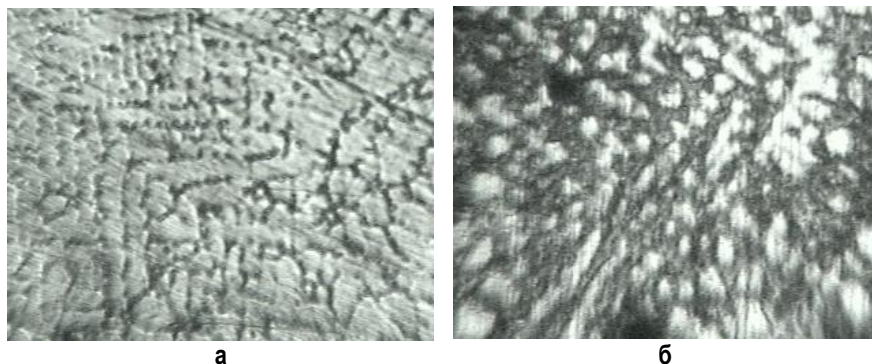


Рис. 3. Структура сплава № 6, увеличение $\times 200$: а – в литом состоянии; б – после отжига 1050°C

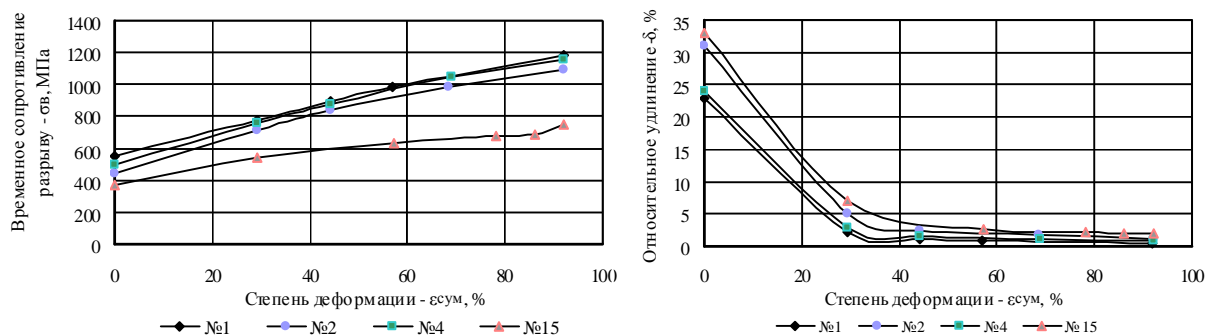


Рис. 4. Механические свойства в зависимости от суммарной степени деформации

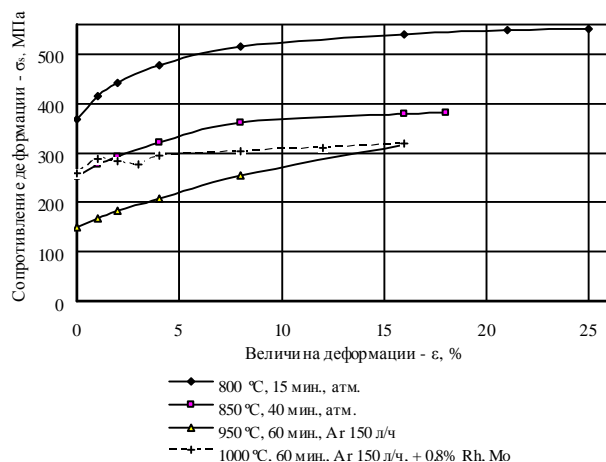


Рис. 5. Сопротивление деформации сплава № 1 при растяжении деформированных образцов, отожженных при различных условиях

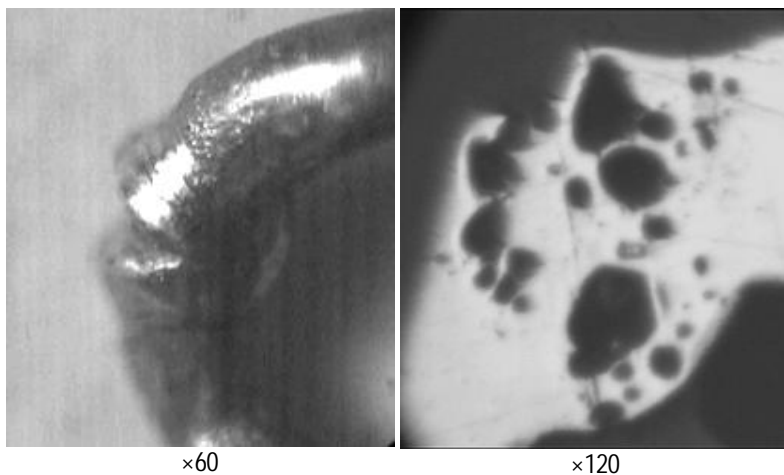


Рис. 6. Внешний вид сварного соединения звена цепи сплава № 2

противления разрыву (рис. 4).

Исследования кривых деформационного упрочнения, снятых с диаграмм растяжения, показывают влияние температуры термической обработки на свойства проволочных полуфабрикатов. Повышение температуры и времени отжига сплава № 1 приводит к снижению прочностных характеристик с одновременным понижением пластических свойств. Модифицирование сплава родием и молибденом повышает уровень механических свойств, при увеличении температуры отжига с 950 до 1000°C имеет равный предел прочности, однако харак-

тер изменения сопротивления деформации различен. При 1000°C, 60 мин отжиг в атмосфере аргона, характер кривой упрочнения характеризуется «зубом» и площадкой текучести, что свидетельствует о явлении резкой текучести при переходе упругой деформации к пластической (рис. 5).

В соответствии с полученным уровнем механических свойств разработаны технологические режимыковки, сортовой прокатки и волочения [2] для исследуемых сплавов. Это позволило усовершенствовать термомеханические режимы обработки сплавов с целью повышения эффективности производства ювелирных изделий в виде цепей. Режимы протяжки с величиной относительной подачи 1,0–1,7 позволяют получать равномерно и интенсивно проработанную структуру палладиевого слитка, что обеспечивает стабильные свойства по его длине. Усовершенствование калибровки для сортовой прокатки палладиевых сплавов позволяет повысить производительность прокатного стана, снизив количество переходов с 45 до 26. Расчет напряженно-деформированного состояния в процессе волочения позволил определить уровень остаточных напряжений по сечению проволоки, влияющих на возникновение микротрещин на завершающей операции гибки звеньев цепи.

Изготовление цепей из проволоки разработанных сплавов сопровождается возникновением дефектов, анализ которых свидетельствует о том, что в зоне сварных швов имеются поры часто сферической конфигурации (рис. 6). Эффект интенсивного высокоскоростного парообразования в сплавах палладия с серебром, обнаруженный в процессе исследований, можно связать с химическим взаимодействием кислородных атомов, концентрирующихся в областях, обогащенных серебром, с атомами водорода, насыщающими области на основе палладия. Одновременное расплавление обоих твердых растворов при плазменном нагреве в зоне сварки обеспечивает концентрацию обоих газов в расплаве и их химическое взаимодействие с образованием паров воды. Это явление нами названо «внутренним горени-

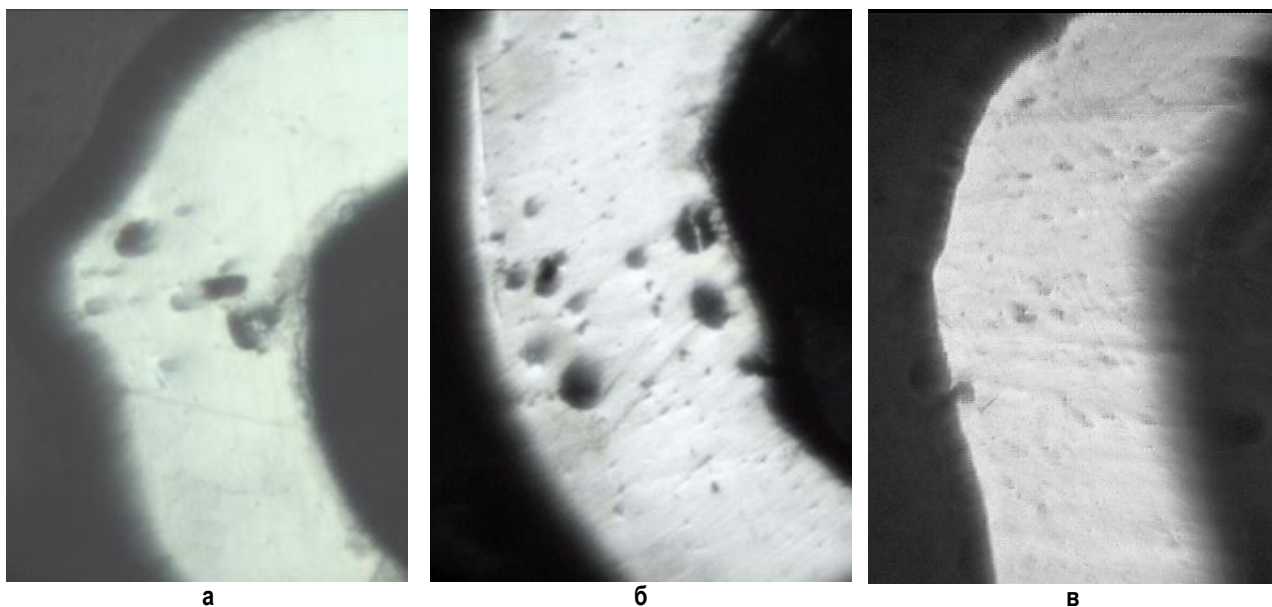


Рис. 7. Внешний вид сварного шва цепи, увеличение $\times 120$:

а – вакуумная обработка сплав № 2; б – модифицирование Rh и Ti сплава № 2; в – бессеребряный сплав № 15

ем водорода» [2].

Исключение возникающего дефекта возможно несколькими способами: вакуумная термическая обработка готовой проволоки с целью отвода газовых включений из полуфабриката; модифицирование сплава родием и титаном (0,3–0,5%) с целью увязывания газовых примесей; изменение химического состава сплава за счет исключения серебра как легирующего компонента [3]. Анализ полученных данных показывает положительное влияние принятых решений, причем максимальный эффект проявляется при аргонно-дуговой сварке сплава, не содержащего серебро (рис. 7).

Таким образом, в результате исследований:

– предложен состав новых палладиевых сплавов, которые можно использовать для изготовления проволоки тонких сечений;

– установлены закономерности изменения механических свойств и структуры литых и деформированных полуфабрикатов из новых сплавов в зависимости от их химического состава и термомеханических режимов обработки;

– выявлен механизм образования пор в зоне сварного шва (гипотеза «внутреннего горения водорода» серебросодержащих сплавов) при аргонно-дуговой сварки звеньев цепи и разработаны технологические режимы и сплавы, позволяющие исключить этот дефект при изготовлении ювелирных цепей;

– усовершенствованы технологические режимы обработки палладиевых сплавов методамиковки, прокатки, волочения, обеспечивающие комплекс характеристик, предъявляемых к деформированным полуфабрикатам для получения ювелирных изделий;

– результаты исследований позволили повысить эффективность технологического процесса получения проволоки из палладиевых сплавов, были внедрены в производство ОАО «Красцветмет» при изготовлении ювелирных изделий и учебный процесс Сибирского

федерального университета при подготовке инженеров по специальности 150106 «Обработка металлов давлением».

Список литературы

1. Пат. 2 352 660 С2 Российская Федерация. Сплав на основе палладия / С.Б. Сидельников, И.В. Тихов, Н.Н. Довженко, А.В. Столяров, Э.А. Рудницкий и др.; заявитель и патентобладатель ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», ОАО «Красноярский завод цветных металлов им. В.Н. Гулидова». № 2007101010-02; заявл. 09.01.07; опубл. 20.04.09. 8 с.
2. Особенности получения и обработки ювелирных сплавов на основе палладия / Довженко Н.Н., Сидельников С.Б., Биронт В.С., Рудницкий Э.А., Ходюков Б.П., Столяров А.В. // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2008. № 1. С. 63–67.
3. Разработка технологии производства ювелирных изделий из бессеребряных палладиевых сплавов / Довженко Н.Н., Сидельников С.Б., Биронт В.С., Рудницкий Э.А., Столяров А.В., Усков И.В., Лопатина Е.С., Ходюков Б.П. // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2008. № 3. С. 64–66.

List of literature

1. Patent 2 352 660 C2 the Russian Federation. Palladium-based alloy / S.B. Sidelnikov, I.V. Tihov, N.N. Dovzhenko, A.V. Stolyarov, E.A. Rudnitskij et al.; the applicant for a patent and the patent holders are FGOU VPO "Sibirskij Federal University" and OJSC "Krasnoyarsk Plant of Non-ferrous metals named after V.N. Gulidov". № 2007101010-02; applied 09.01.07; issued 20.04.09. 8 p.
2. Characteristic properties of manufacture and processing of jewelry palladium-based alloys / Dovzhenko N.N., Sidelnikov S.B., Biron V.S., Rudnitskij E.A., Hodjukov B.P., Stolyarov A.V. // Vestnik of MSTU named after G.I. Nosov. 2008. № 1. P. 63-67.
3. Development of production technology of jewelry made of non-silver palladium alloys / Dovzhenko N.N., Sidelnikov S.B., Biron V.S., Rudnitskij E.A., Stolyarov A.V., Uskov I.V., Lopatina E.S., Hodjukov B.P. // Vestnik of MSTU named after G.I. Nosov. 2008. № 3. P. 64-66.

НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.778.014-426:620.172.242

Ефимова Ю.Ю., Копцева Н.В., Никитенко О.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ КАРБИДНОЙ ФАЗЫ ПОСЛЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЯ И ПОСЛЕДУЮЩЕГО ВОЛОЧЕНИЯ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ*

В сплавах, подвергнутых интенсивным деформациям, конечная нанокристаллическая (НК) или ультрамелкозернистая (УМЗ) структура определяется не только условиями обработки, но и исходной микроструктурой, а также фазовым составом. В однофазных твердых растворах наноструктурирование происходит аналогично чистым металлам, но получаемый размер зерен может быть значительно меньше. В многофазных сплавах существенную роль при измельчении структуры играют природа и морфология вторых фаз [1, 2].

Одновременно с образованием субструктур может меняться и фазовый состав материала. При наличии в исходной структуре сплава частиц вторых фаз, более прочных, чем матрица, при интенсивной пластической деформации (ИПД) может происходить их дробление, а также растворение вследствие механического легирования, приводящее к образованию пересыщенного твердого раствора [3–5].

При ИПД ферритно-перлитной стали формирование субструктуры, фрагментирование и разрушение цементита идут не только одновременно и параллельно, но и обладают сильным взаимным влиянием [4]. Дислокации проникают в цементит и разрезают его на части. На межфазных границах возникают дислокационные сплетения, которые затем перестраиваются в субграницы. Интенсивность рефлексов карбидной фазы на электронограммах слабеет. Углерод из цементита выносится перерезающими его дислокациями [4, 6].

Наименее изучен данный процесс в ферритно-перлитных сталях с небольшим содержанием углерода, где для его протекания требуются большие деформации. Основная причина растворения цементита заключается в том, что атомам углерода энергетически выгоднее находиться на ядрах дислокаций и на субграницах, чем в решетке цементита. Поэтому в условиях локального квазиравновесного состояния, которое реализуется в процессе субструктурно-фазовых превращений, протекающих в деформированной стали, появляется значительная вероятность сосредоточения атомов углерода на дефектах кристаллической решетки феррита [4].

* Работа выполнена в рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)», проект «Создание научных основ эволюции структуры и свойств наноструктурных конструкционных сталей в процессах обработки давлением» (регистрационный номер 2.1.2/2014).

Целью данной работы является исследование состояния цементитной фазы в стали 20, подвергнутой наноструктурированию методом равноканального углового прессования (РКУП) и последующему волочению. Были исследованы образцы стали в различном исходном состоянии – горячекатаном и улучшенном (закалка + отпуск), после РКУП** и после волочения по маршруту: 6,75 → 6,5 → 5,9 → 5,3 → 4,8 → 4,3 → 3,95 → 3,8 → 3,4 → 3,05 → 2,75 → 2,45 → 2,15 → 1,95.

Исследование структуры проводили дифракционным (просвечивающим) электронно-микроскопическим анализом (ПЭМ) на фольгах с помощью электронного микроскопа JEM-200CX в светлом и темном поле при ускоряющем напряжении 160 кВ*** и методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) с помощью микроскопа JSM-6490LV при ускоряющем напряжении 30 кВ на микрошлифах (используемых для световой микроскопии) в режимах вторичных и отраженных электронов.

Структура перлитных участков горячекатаной стали 20 до и после РКУП представлена на рис. 1.

До обработки методом РКУП толщина ферритных пластин составляла 60–250 нм (рис. 1, а). После обработки методом РКУП в перлитных участках произошло уменьшение толщины ферритных промежутков до 40–160 нм, а толщина цементитных пластин практически осталась неизменной и составила около 70–200 нм. В некоторых участках ферритные пластины оказались не только тонкими, а цементитные пластины не только сближенными, что даже при больших увеличениях выглядят как области с практически однофазным строением (рис. 1, б). При этом цементитные пластины изогнуты, в отдельных участках сильно, что свидетельствует об их деформации в процессе обработки стали методом РКУП. Кроме того, цементитные частицы в данном случае играют роль вторых фаз, более прочных, чем матрица – феррит. Поэтому при интенсивной пластической деформации при РКУП происходит их дробление, и дислокации,

** Процесс РКУП реализовывался в условиях Института перспективных материалов ГОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет».

*** Дифракционный электронно-микроскопический анализ проводили в Центре коллективного пользования Института физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург.

проникая в цементит, разрезают его на части (рис. 1, б, в). Микроструктура стали 20 после улучшения состоит из дисперсной ферритно-карбидной смеси со сферическими цементитными частицами, характерной для строения сорбита отпуска. Карбиды имеют преимущественно сферическую форму (рис. 2, а). Их распределение в ферритной матрице выглядит неоднородно: в некоторых ферритных областях частиц цементита не обнаруживаются или их количество и размеры ничтожно малы. Размеры частиц, расположенных внутри ферритных зерен, составляют от 30 до 142 нм, а более крупных, расположенных по границам кристаллов, – от 312 до 686 нм (рис. 2, б). На электронограммах присутствуют карбидные рефлекссы (рис. 2, в). Размер карбидных частиц согласуются с результатами сканирующей микроскопии.

В микроструктуре стали 20 после улучшения и последующего наноструктурирования методом РКУП

размеры цементитных частиц в среднем составляют от 26 до 113 нм, а крупных – от 277 до 576 нм (рис. 3, а). Известно, что при пластической деформации может растворяться до 40–50% цементитной фазы [7, 8]. При РКУП улучшенной стали 20 в условиях воздействия интенсивной пластической деформации, очевидно, происходит растворение наиболее мелких карбидных частиц, расположенных внутри кристаллов α -фазы. Вследствие этого происходит «очищение» областей феррита от карбидов, что облегчает накопление деформации при осуществлении проходов во время РКУП и развитие фрагментации в этих участках.

С другой стороны, известно, что пластическая деформация значительно ускоряет протекание процессов сфероидизации и коагуляции цементита [9]. Поэтому при РКУП в данном случае наблюдается укрупнение крупных частиц в результате коагуляции, поскольку процесс происходит при нагреве до 400°С.

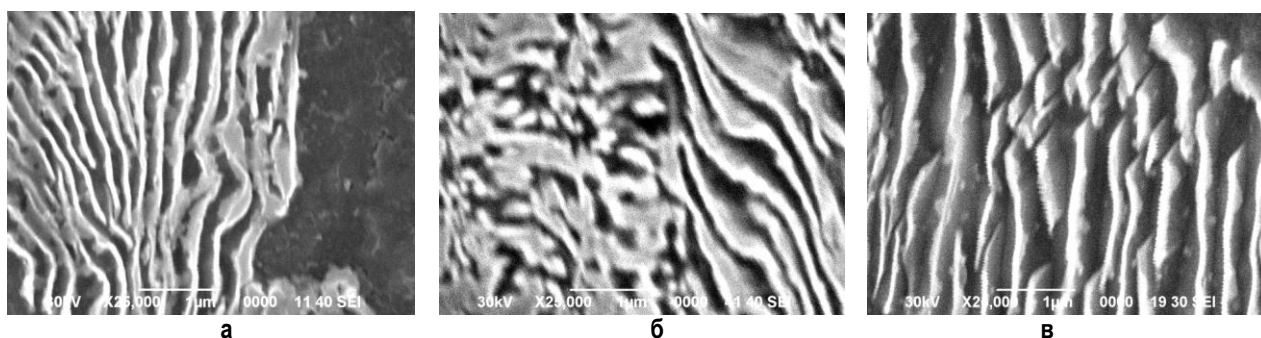


Рис. 1. Структура перлитных участков горячекатаной стали 20 до (а) и после РКУП (б, в)

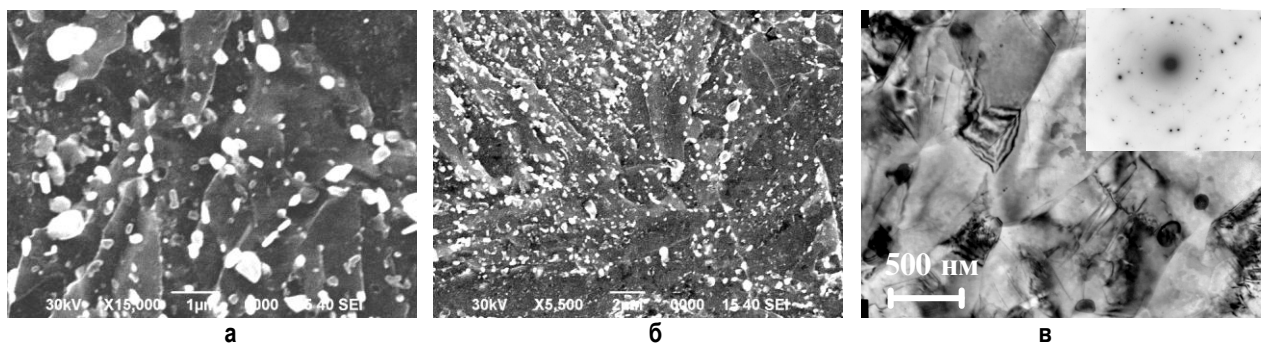


Рис. 2. Структура стали 20 после улучшения, полученная методом РЭМ (а, б) и ПЭМ (в)

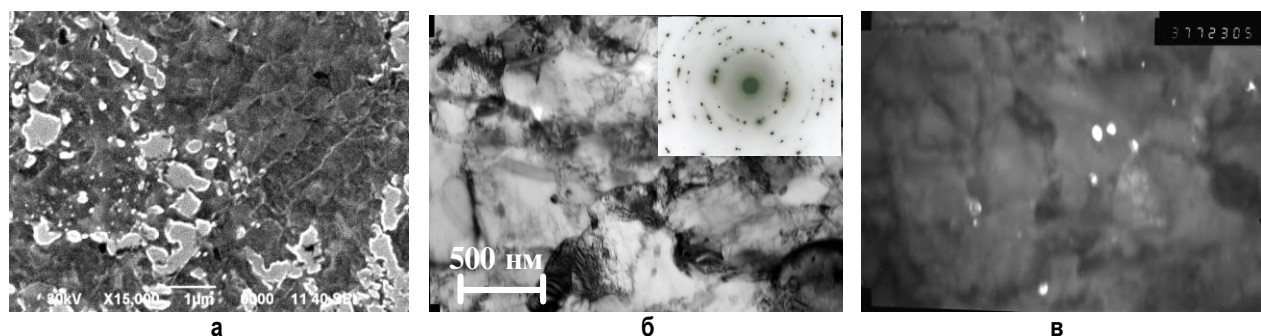


Рис. 3. Карбидные частицы в структуре стали 20 после улучшения и наноструктурирования методом РКУП: а – снятые с помощью РЭМ; б – светлопольное изображение и электронограмма; в – темнопольное изображение в рефлексе цементита, полученное методом ПЭМ

Карбидные рефлексы на микроэлектроннограммах в подавляющем большинстве случаев отсутствовали, что свидетельствует о малом количестве и небольших размерах карбидных частиц в исследуемых областях микроструктуры (рис. 3, б). Размер мелких карбидных частиц, расположенных в ферритных зернах, был определен с помощью темнопольного анализа и составил от 16 до 100 нм (рис. 3, в), что согласуется с результатами сканирующей микроскопии. Небольшое количество и малые размеры карбидов подтверждают предположение, что, очевидно, при РКУП в результате интенсивной пластической деформации происходит частичное растворение карбидной фазы. При этом атомы углерода переходят, как полагают многие исследователи, в дефекты кристаллического строения феррита [10, 11].

Большое влияние на процесс последующей деформации наноструктурированной стали 20, которая представляет собой гетерофазную систему, оказывает хрупкая карбидная фаза, в особенности ее морфология и характер распределения (рис. 4). При этом возможность достижения высоких значений прочности и пластичности холодноотянутой стали определяется двумя конкурирующими факторами – снижением концентрации углерода на дислокациях феррита и коагуляцией цементитных частиц. Известно также, что частицы цементита сферической формы практически не деформируются в процессе пластической деформации и их наличие существенно осложняет формирование тонкой структуры деформации.

Как было показано выше, в стали 20 после улучшения и обработки методом РКУП наблюдается не-

однородное распределение цементита (см. рис. 3, а): обнаруживаются области с мелкими и более крупными цементитными частицами, а также участки, практически свободные от карбидных частиц. При увеличении степени обжатия примерно до 40% происходит частичное растворение цементитных частиц, очевидно, в первую очередь, более мелких; размеры и количество крупных частиц уменьшаются (рис. 4, а, б). Это освобождает дополнительные области феррита для дислокационных сдвигов и также способствует развитию пластического течения.

При увеличении степени обжатия свыше 37,4% происходит дальнейшее уменьшение размеров наиболее крупных карбидных частиц, которые не превышают 100–330 нм, что свидетельствует о продолжающемся растворении цементита (рис. 4, в). При этом более крупные ферритные зерна также фрагментируются, измельчаются, и при степенях обжатия больше 65% структура становится однородной, состоящей из ультрамелких и нанокристаллических зерен феррита с размерами 84–173 нм с равномерно распространенными округлыми частицами цементита с размерами 42–133 нм (см. рис. 4, в). При частичном растворении карбидов за счет диффузии углерода и образования атмосфер преимущественно на дислокациях неравновесных границ зерен происходит блокировка и стабилизация границ. Создаются условия для потери устойчивости пластического течения, и твердость стали повышается.

Уменьшение размеров карбидных частиц и частичное их растворение при волочении заготовки из стали 20, предварительно улучшенной и обработанной методом

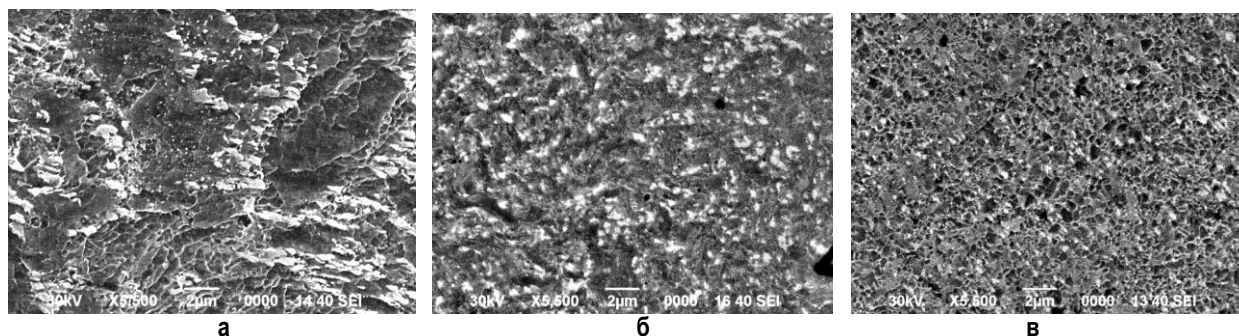


Рис. 4. Общий вид микроструктуры наноструктурированной стали 20 после волочения со степенью обжатия 5,9 (а), 37,4 (б) и 67,8% (в)

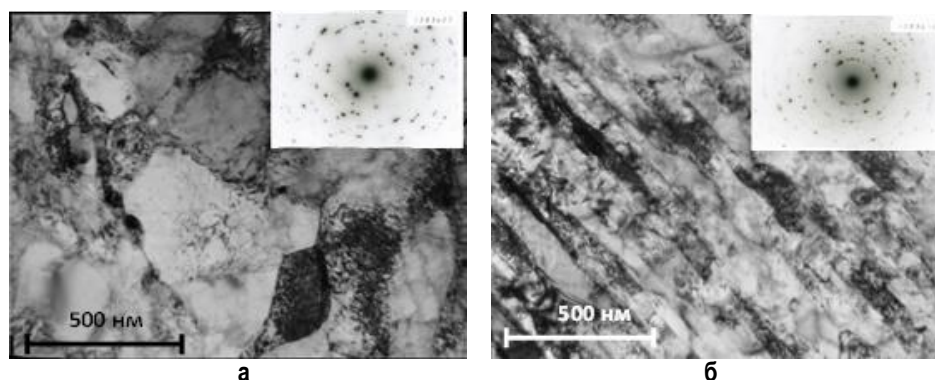


Рис. 5. Тонкая структура наноструктурированной стали 20 после волочения со степенью обжатия 5,9 (а) и 91,5% (б)

РКУП, подтверждаются исследованиями ПЭМ (рис. 5).

При последующем нагреве может происходить «очистка» феррита от углерода и частичное восстановление цементита, что позволяет рассчитывать на увеличение пластичности без значительного снижения прочности.

Выводы

При наноструктурировании методом РКУП горячекатаной стали 20 в перлите происходит уменьшение толщины ферритных промежутков до размеров, соизмеримых с толщиной цементитных пластин, которые сильно изогнуты и частично раздроблены. Это обеспечивает повышение сопротивления деформации.

Карбидная фаза в наноструктурированной предварительно улучшенной стали 20 представляет собой дисперсные, преимущественно округлые частицы, неравномерно распределенные в ферритной матрице: в некоторых ферритных областях частицы цементита не обнаруживаются, или их количество и размеры ничтожно малы. При этом частицы цементита располагаются на границах и субграницах, что может видоизменять продвижение полосы скольжения в процессе деформации и увеличивать тем самым возможность пластических сдвигов.

При РКУП и последующем волочении наноструктурированной предварительно улучшенной стали происходит частичное растворение карбидов с переходом атомов углерода в дефекты кристаллического строения феррита; размеры карбидных частиц уменьшаются до наноразмеров. При этом происходит растворение, в первую очередь, более мелких частиц цементита, что освобождает дополнительные области феррита для дислокационных сдвигов и, очевидно, также способствует развитию пластического течения.

Список литературы

1. Получение объемных металлических нано- и субмикроструктурных материалов методом интенсивной пластической деформации / Добаткин С.В., Арсенкин А.М., Попов М.А. и др. // *МіТОМ*. 2005. № 5. С. 29–34.
2. Механизмы измельчения зерен в алюминиевых сплавах в процессе интенсивной пластической деформации / Кайбышев Р.О., Мазурина И.А., Громов Д.А. // *МіТОМ*. 2006. № 2. С. 14–19.
3. Валиев Р.З., Александров И.В. Объемные наноструктурные металлические материалы. М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. 398 с.
4. Целлермаер В.Я. Субструктурно-фазовые превращения при интенсивной пластической деформации металлов // *Изв. вузов. Черная металлургия*. 1999. № 12. С. 44–49.
5. Исследование влияния структурно-фазовых изменений при интенсивной пластической деформации и термической обработке на свойства сталей / Петрова Н.Д., Петров П.П., Платонов А.А. и др. // *Наноматериалы технического и медицинского назначения* (III Международная школа «Физическое материаловедение»): сб. материалов / под ред. А.А. Викарчука. Самара, Тольятти, Ульяновск, Казань, 24–28 сент. 2007 г. Тольятти: ТГУ, 2007. С. 363–365.
6. Гаврилюк В.Г. Распределение углерода в стали. Киев: *Наук. думка*, 1987. 208 с.
7. Перлит в углеродистых сталях / Счастливцев В.М., Мирзаев Д.А., Яковлева И.Л. и др. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 311 с.
8. Белоус М.В., Черепин В.Т. Изменения в карбидной фазе ста-

- ли под влиянием холодной пластической деформации // *ФММ*. 1962. 14. Вып. 1. С. 48–54.
9. О механизме динамической сфероидизации цементита / Стародубов К.Ф., Долженков И.Е., Лотманова И.Н. // *Изв. АН СССР. Металлы*. 1971. № 6. С. 120–124.
10. Технологические основы электротермической обработки стали / Гриднев В.Н., Мешков Ю.Я., Ошкадеров С.П. и др. Киев: *Наук. думка*, 1977. 213 с.
11. Сагарадзе В.В. Деформационно-индуцируемые низкотемпературные диффузионные превращения в сталях // *Развитие идей академика В.Д. Садовского: сб. тр.* Екатеринбург, 2008. С. 192–218.
12. Чукин М.В., Емалева Д.Г. Влияние термической обработки на эволюцию структуры и свойств стальной проволоки в процессе РКУПротяжки // *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*. 2008. № 2. С. 70–71.
13. Инновационный потенциал новых технологий производства метизных изделий из наноструктурных сталей / Чукин М.В., Копцева Н.В., Барышников М.П. и др. // *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*. 2009. № 2. С. 64–68.

List of literature

1. Production of metallic three-dimensional nano- and sub microcrystalline materials using the method of intensive plastic deformation / Dobatkin S.V., Arsenkin A.M., Popov M.A. etc. // *МіТОМ*. 2005. № 5. P. 29–34.
2. Mechanisms of grain refining in aluminium alloys during intensive plastic deformation / Kaibyshev R.O., Mazurina I.A., Gromov D.A. // *МіТОМ*. 2006. №2. P. 14–19.
3. Valiev R.Z., Aleksandrov I.V. Three-dimensional nanostructure metallic materials. M.: IKC "Akademkniga", 2007. 398 p.
4. Tsellermaier V.Y. Sub structural phase transformation during intensive plastic deformation of metals // *Proceedings of Universities. Ferrous Metallurgy*. 1999. № 12. P. 44–49.
5. The research of influence of structural phase changes during intensive plastic deformation and heat treatment on steel properties / Petrova N.D., Petrov P.P., Platonov A.A. at alias. // *Nanomaterials for technical and medical applications* (III International School "Physical Material Science"): collection of scientific papers / Editor: A.A. Vikarchuk. Samara, Togliatti, Ulyanovsk, Kazan, 24th–28th of September. 2007 Togliatti: TSU, 2007. P. 363–365.
6. Gavrilyuk V.G. Carbon distribution in steel. Kiev: *Nayk. dumka*, 1987. 208 p.
7. Perlite in carbon steels / Schastlivtsev V.M., Mirzaev D.A., Yakovleva I.L. at alias. Yekaterinburg: UrO RAN, 2006. 311 p.
8. Bebus M.V., Cherepin V.T. Changes in carbide phase of steel during cold plastic deformation // *FMM*. 1962. 14. Issue 1. P. 48–54.
9. The mechanism of dynamic spheroidization of cementite / Starodubov K.F., Dolzhenkov I.E., Lotsmanova I.N. // *Proceedings of AN USSR. Metals*. 1971. № 6. P. 120–124.
10. Technological fundamentals of thermal-electric treatment of steel / Gridnev V.N., Meshkov Y.Y., Oshkaderov S.P. etc. Kiev: *Nayk. dumka*, 1977. 213 p.
11. Sagaradze V.V. Deformation induced low temperature diffusion transformations in steels // *Developing the idea of Academician V.D. Sadovskij collection of scientific papers*. Yekaterinburg, 2008. P. 192–218.
12. Chukin M.V., Emaleeva D.G. The influence of thermal treatment on the structure evolution and properties of steel wire in the process of RKU drawing // *Vestnik of MSTU named after G.I. Nosov*. 2008. № 2. P. 70–71.
13. Potential of new technologies in manufacture wire products made of nanostructural steels / Chukin M.V., Koptseva N.V., Barjshnikov M.P. etc. // *Vestnik of MSTU named after G.I. Nosov*. 2009. № 2. P. 64–68.

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

УДК 658. 652; 621. 79

Мезин И.Ю., Яковлева Е.С.

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА АВТОКОМПОНЕНТОВ

Любое современное производство независимо от его специфики неразрывно связано с измерениями, которым подвергаются как режимы технологических процессов, так и параметры заготовок и готовой продукции. По результатам выполненных измерений обычно делаются выводы о состоянии исследуемых объектов и соответствии их заданным требованиям. За обеспечение необходимого качества измерений, в общем случае, ответственность несет метрологическая служба предприятия, поскольку любое измерение входит в комплекс работ по метрологическому обеспечению производства.

Международный стандарт ИСО 9001:2008 регламентирует управление контрольным и измерительным оборудованием. Согласно разделу 7.6 ИСО 9001:2008 организация должна определить, какие виды мониторинга и измерений будут осуществляться, а также соответствующее контрольное и измерительное оборудование, необходимое для предоставления доказательств соответствия продукции установленным требованиям [1]. Поскольку управление средствами измерений является одной из важных составляющих процесса производства продукции и одним из элементов системы менеджмента качества, то перед предприятиями встает задача периодической оценки результативности метрологического обеспечения своего производства.

В связи с тем, что понятие «метрологическое обеспечение» включает в себя комплекс необходимых про-

цедур и действий по управлению средствами измерений и мониторинга, то представляется целесообразным введение специального показателя, с помощью которого можно оценить результативность выполнения требований раздела 7.6 стандарта ИСО 9001:2008. В представленной работе предложен подход к оценке результативности метрологического обеспечения процесса производства автокомпонентов с помощью комплексного показателя и показан вариант его применения на примере малогабаритных корпусных изделий, получаемых методами листовой и горячей объемной штамповки, используемых в машиностроительной и автомобильной отраслях промышленности.

Для наглядного представления степени взаимодействия свойств и взаимосвязи групповых и единичных параметров, составляющих комплексный показатель результативности метрологического обеспечения, используется граф-модель, разработанная для процессов производства малогабаритных корпусных изделий. Указанная граф-модель представлена на рис. 1.

Предлагаемый показатель «Результативность метрологического обеспечения», обозначенный на рис. 1 как E , является комплексным, поскольку включает в себя множество групповых и единичных параметров, характеризующих составляющие элементы метрологического обеспечения. В качестве групповых параметров оценки результативности целесообразно использовать следующие:

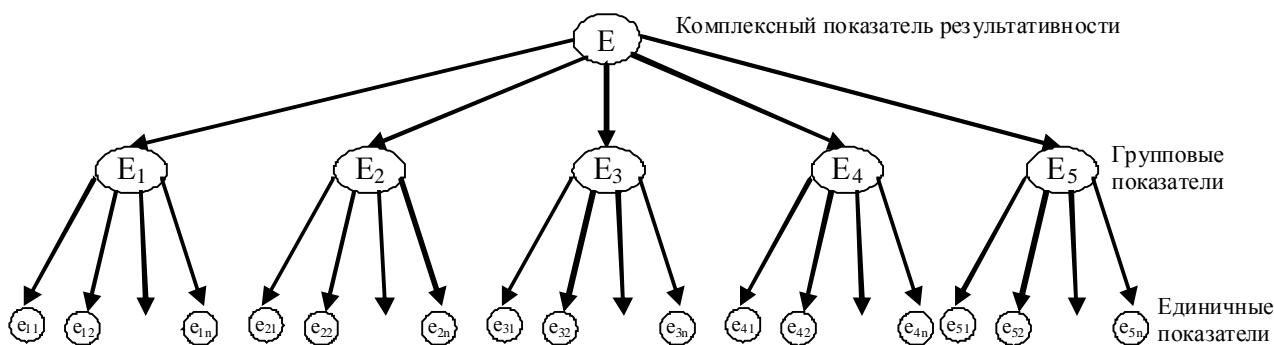


Рис. 1. Граф-модель зависимости комплексного показателя оценки результативности метрологического обеспечения от групповых и единичных показателей:

E – комплексный показатель результативности метрологического обеспечения; E_1, \dots, E_n – групповые показатели оценки результативности метрологического обеспечения; e_{11}, \dots, e_{nm} – единичные показатели оценки результативности метрологического обеспечения

1. Анализ измерительных систем (E_1).

Системы менеджмента качества в автомобильной промышленности сертифицируются на соответствие ИСО/ТУ 16949:2002. Данные технические условия регламентируют выполнение MSA (measurement system analysis) – анализа измерительных систем. Под измерительной системой, в контексте указанных документов, понимается совокупность всех факторов, влияющих на результат измерения, в том числе: контрольно-измерительное оборудование, методика проведения измерений, персонал, программное обеспечение. Целью анализа измерительной системы является выявление источников изменчивости, влияющих на результаты работы системы, позволяющее количественно оценить и понять ограничения конкретных измерительных систем [2].

2. Метрологическая экспертиза (E_2).

Метрологическая экспертиза – анализ и оценка правильности установления и соблюдения метрологических требований применительно к объекту, подвергаемому экспертизе. Метрологическая экспертиза проводится в обязательном (обязательная Метрологическая экспертиза) или добровольном порядке [3]. Метрологическая экспертиза является частью комплекса работ по метрологическому обеспечению производства. Применительно к условиям производства автокомпонентов под метрологической экспертизой понимаются анализ и оценка технических решений по выбору параметров, подлежащих измерению, установлению норм точности и обеспечению методами и средствами измерений процессов разработки, изготовления, испытаний, эксплуатации и утилизации изделий. Метрологической экспертизе подвергаются конструкторская и техническая документация, техническое задание, технические условия на изделия основного производства. Метрологическая экспертиза проводится с целью:

- обеспечения результативности и достаточности измерений в процессе разработки, изготовления, испытаний, эксплуатации и утилизации изделий;
- решения вопроса о возможности контроля оговоренных в документации норм точности и о возможности реализации, достаточности и экономической целесообразности заложенных в технической документации методов контроля, измерений и испытаний.

3. Испытания (E_3).

Испытание – техническая операция, заключающаяся в определении одной или нескольких характеристик продукции, процесса или услуги в соответствии с установленной процедурой. Испытания продукции являются неотъемлемой частью процесса производства, поскольку позволяют дать адекватную оценку качества готовой продукции. По результатам испытаний можно судить об «узких» местах процесса производства, сделать выводы о реальном уровне качества продукции и принять необходимые меры для его улучшения.

4. Поверка (E_4).

Поверка средств измерений – совокупность операций, выполняемых в целях подтверждения соответствия средств измерений метрологическим требованиям [3].

Обязательность поверки средств измерений, используемых при изготовлении продукции, регламентирована законом РФ «Об обеспечении единства измерений». Все средства измерений должны подвергаться периодической поверке в процессе эксплуатации. Все результаты поверки должны быть зарегистрированы и задокументированы в установленном порядке.

5. Метрологический надзор (E_5).

Государственный метрологический надзор – контрольная деятельность в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, осуществляемая уполномоченными федеральными органами исполнительной власти и заключающаяся в систематической проверке соблюдения установленных законодательством Российской Федерации обязательных требований, а также в применении установленных законодательством Российской Федерации мер за нарушения, выявленные во время надзорных действий [3].

Основные задачи проведения метрологического надзора:

- определение состояния и правильности применения средств измерений;
- контроль соблюдения метрологических правил и норм в соответствии с Законом РФ «Об обеспечении единства измерений» и действующими нормативными документами по обеспечению единства измерений.

Архитектура предлагаемой модели оценки результативности метрологического обеспечения, в соответствии с рис. 1, основывается на трех иерархических уровнях используемых показателей: комплексный, групповые и единичные. Групповые показатели, принадлежащие второму уровню, рассчитываются суммированием единичных показателей, составляющих первый уровень. Это позволяет получить значение группового показателя, отличное от нуля, даже при нулевом значении одного из единичных показателей. В этом случае единичные показатели считаются равновесными, а нулевое значение одного из показателей компенсируется действием другого. Полученные значения групповых показателей перемножаются между собой, что обеспечивает достоверность и адекватность получаемой оценки результативности, поскольку в случае равенства нулю одного из групповых показателей невозможно говорить о результативном функционировании всего метрологического обеспечения.

Комплексный показатель результативности метрологического обеспечения определяется как отношение произведений фактических и плановых групповых параметров. За плановые параметры принимаются максимально возможные и реально достижимые показатели, определяемые документами перспективного развития предприятия, такой подход отражает текущее состояние и дальнейшее развитие метрологического обеспечения производства. Таким образом, математическую модель результативности метрологического обеспечения можно представить в виде следующих формул:

$$E = \varphi(E_1, E_2, E_3, E_4, E_5),$$

где E – комплексный показатель результативности; E_1, \dots, E_5 – групповые показатели результативности.

1. Сумма фактических значений единичных показателей по каждому групповому показателю

$$E_n = \sum_{i=1}^N e_{fi},$$

где E_n – групповые показатели результативности; e_{fi} – фактические значения единичных показателей результативности; N – число единичных показателей.

2. Сумма плановых значений единичных показателей по каждому групповому показателю

$$K_n = \sum_{i=1}^N e_i,$$

где K_n – плановые групповые показатели результативности; e_i – плановые значения единичных показателей результативности.

3. Расчет комплексного показателя оценки результативности метрологического обеспечения

$$E = \frac{\prod_{n=1}^M E_n}{\prod_{n=1}^M K_n},$$

где M – число групповых показателей.

Алгоритм оценки результативности метрологического обеспечения представлен на рис. 2.

Рассмотрим пример конкретного использования предложенного подхода к оценке результативности метрологического обеспечения производства. Методом

экспертного опроса работников предприятия получены значения единичных параметров метрологического обеспечения производства автокомпонентов, например корпусов шаровых шарниров, за 1 и 2 квартал 2007 года. Указанные данные приведены в таблице. В последней графе представлены плановые значения анализируемых показателей, которые представляют собой максимально достижимые значения на данный момент времени в условиях конкретного производства.

По результатам расчета комплексного показателя установлено:

1 квартал. $E = 0,27$ – метрологическое обеспече-

Значения единичных параметров

Показатели результативности метрологического обеспечения	Значение		Плановые значения e_i
	1 квартал	2 квартал	
1. Групповой показатель E_1			
1.1. Качество измерений e_{11}	4	4	5
1.2. Умение пользоваться СИ e_{12}	3	4	5
1.3. Правильность обработки результатов АИС e_{13}	3	4	5
1.4. Пригодность СИ к применению e_{13}	4	5	5
1.5. Условия эксплуатации СИ e_{14}	4	5	5
1.6. Простота использования СИ e_{15}	4	4	5
2. Групповой показатель E_2			
2.1. Метрологическая экспертиза технической документации e_{21}	4	4	5
2.2. Метрологическая экспертиза конструкторской документации e_{22}	4	4	5
2.3. Метрологическая экспертиза технических условий e_{23}	4	4	5
2.4. Метрологическая экспертиза технического задания e_{24}	4	4	5
2.5. Метрологическая экспертиза чертежей e_{25}	4	5	5
2.6. Метрологическая экспертиза программ и методик испытаний e_{26}	4	5	5
2.7. Метрологическая экспертиза карты технологического процесса e_{27}	4	5	5
3. Групповой показатель E_3			
3.1. Условия проведения испытаний e_{31}	4	5	5
3.2. Результативность испытаний e_{32}	4	4	5
3.3. Трудоемкость испытаний e_{33}	4	4	5
3.4. Воспроизводимость испытаний e_{34}	3	5	5
3.5. Стоимость испытаний e_{35}	3	4	5
4. Групповой показатель E_4			
4.1. Оценка соблюдения сроков сдачи СИ на поверку e_{41}	4	5	5
4.2. Оценка результатов поверок СИ e_{42}	4	4	5
5. Групповой показатель E_5			
5.1. Оценка правильности эксплуатации СИ e_{51}	4	4	5
5.2. Контроль соблюдения метрологических правил и норм e_{52}	4	5	5
6. Комплексный показатель результативности E	0,27	0,55	1

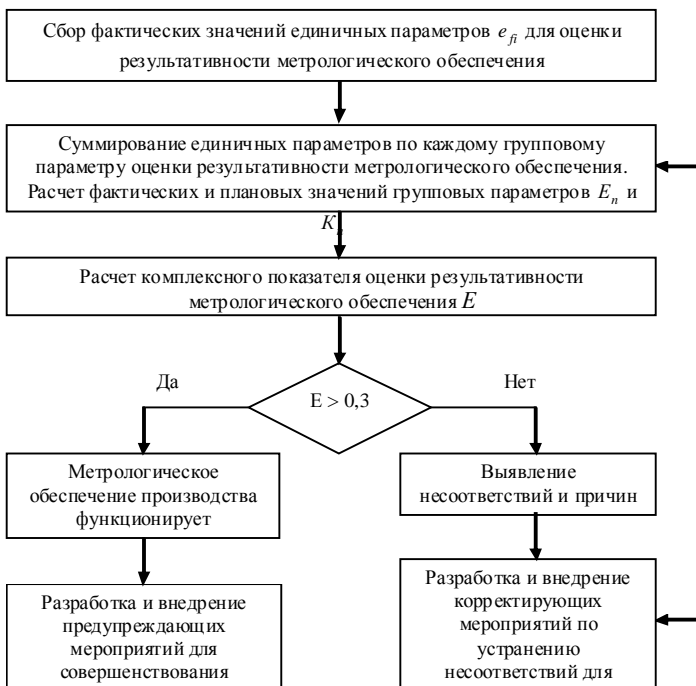


Рис. 2. Блок-схема алгоритма оценки результативности метрологического обеспечения производства автокомпонентов

ние функционирует нерезультативно. Необходимо определить несоответствия и причины их возникновения, а также разработать и внедрить комплекс корректирующих мероприятий.

2 квартал. После внедрения мероприятий по улучшению метрологического обеспечения величина комплексного показателя составляет $E = 0,55$. В рамках предложенной концепции можно сделать вывод, что анализируемая система, а именно метрологическое обеспечение, функционирует результативно, однако возможно дальнейшее совершенствование системы.

При изменении условий производства или достижении плановых показателей требуется пересмотр плановых показателей и новая оценка результативности метрологического обеспечения.

Таким образом, предложенная оценка результативности метрологического обеспечения производства с помощью комплексного показателя учитывает влияние всех составляющих элементов. Следовательно, комплексная оценка может найти широкое применение при

планировании и организации производства, разработке новых видов продукции не только при изготовлении автокомпонентов, но и в других смежных отраслях.

Список литературы

1. ИСО 9001:2008. Системы менеджмента качества. Требования.
2. Анализ измерительных систем. MSA / пер. с англ. Рьбакова И.Н. Новгород: АО «НИЦ КД», СМЦ «Приоритет», 2002. 138 с.
3. Российская Федерация. Законы. Об обеспечении единства измерений: федер. закон: принят Гос. Думой 11 июня 2008 г.: одобр. Советом Федерации 18 июня 2008 г.

List of literature

1. ISO/ FDIS 9001:2008. Quality management systems. Requirements.
2. Measurement system analysis (MSA). Reference manual. Second edition.
3. The Russian Federation. Laws. «About maintenance of unity of measurements». The federal law. Text.

УДК 621.77

Голубчик Э.М., Щуров Г.В.

ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОФИЛЕЙ ВЫСОКОЙ ЖЕСТКОСТИ

Для повышения конкурентоспособности изготавливаемой продукции и обеспечения сбалансированности интересов потребителей и производителей на рынках сбыта необходимо внедрение новых технических и технологических решений, позволяющих обеспечивать высокое качество готовых изделий, особенно при производстве продукции с высокой добавленной стоимостью, к которой можно отнести гнутый профиль.

На сегодняшний день цех гнутых профилей (ЛПЦ № 7) ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» является одним из крупнейших производителей холодногнутого профиля в России, в котором к настоящему времени освоен выпуск более 700 профилеразмеров из различных марок стали, от низкоуглеродистых (СтЗпс, 08пс) до легированных (10ХНДП, 09Г2, 09Г2С, 10Г2ФБЮ) [1]. Значительную долю гнутых профилей в ОАО «ММК» занимают профили высокой жесткости (ПВЖ), изготавливаемые для нужд вагоноремонтных и вагоностроительных заводов на единственном на территории бывшего СССР профилегибочном стане (ПГС) 1–5×300–1650, на котором производят профили как с периодически повторяющимися, так и со сплошными (сквозными) гофрами из горячекатаного нетравленного рулонного металлопроката.

Как известно, образование продольных периодических гофров при профилировании осуществляется за счет местной вытяжки металла в зоне его деформации, при этом происходит переход металла из мест, прилегающих к гофрам, в очаг деформации. Это вызывает интенсивную утяжку полос по ширине [2]. Любое возмущение в процессе формовки, связанное с изменчиво-

стью технологических режимов, калибровки (валкового инструмента) или свойств подката, приводит к появлению либо дефектной продукции, либо брака. При этом среди всех видов несоответствий наибольшую долю составляют отклонения механических свойств, различных геометрических параметров ПВЖ, а также нарушение сплошности поверхности (продольные трещины, механические повреждения и т.д.).

Показатели качества в готовом периодическом профиле зависят от настройки и состояния (свойств) технологической системы производства ПВЖ. Основными свойствами такой системы можно считать (рис. 1):

– свойства заготовки (горячекатаного подката) – геометрические размеры (толщина, ширина), плоскостность, волнистость, серповидность, механические свойства (σ_b , σ_s , δ_5), состояние поверхности (отсутствие плен, разрывов, механических повреждений, загрязнений и пр.);

– свойства технологии – схема формовки (использование 1 или 2 клетей), технологические режимы (межоперационные сроки (температура полосы); настройка на профиль (настройка элементов оборудования для обеспечения точности геометрических размеров ПВЖ); согласованность скорости профилирования и скорости мерного реза; состояние эмульсионной системы);

– свойства оборудования (разработанная схема калибровки; износ поверхности валков, ножей; общее состояние (разбалансировка (люфты); моральный и физический износ элементов оборудования);

– иные свойства – человеческий фактор; методы организация производства; прочие.

При этом под свойствами технологической системы будем понимать наличие у нее только желаемых свойств, связанных с главной полезной функцией системы [3].

Следует отметить, что оценка показателей качества получаемых ПВЖ в 85–90% сводится к определению точности выполнения геометрических размеров как в соответствии с требованиями нормативно-технической документации, так и пожеланиями заказчиков – потребителей продукции. Одним из значимых блоков геометрических параметров при изготовлении ПВЖ являются показатели, определяющие длину отдельного периода и общую длину профиля. Так, например, в соответствии с требованиями ТУ 14-101-789-2008 «Профили стальные высокой жесткости с периодически повторяющимися и сквозными гофрами. Технические условия», по которым производится до 95% продукции ПГС 1–5×300–1650, профили изготавливаются длиной от 4,0 до 12,2 м. Для профилей со сквозными гофрами предельные отклонения по длине профилей мерной и кратной мерной длины не должны превышать:

- +40 мм – для профилей длиной до 6 м включительно;
- +80 мм – для профилей длиной свыше 6 м.

В зависимости от назначения профили могут по-

ставляться:

- мерной длины (МД);
- кратной мерной длины (КД);
- кратной длине одного периода.

При поставке профилей мерной и кратной мерной длины допускается в пачке наличие профилей немерной длины, в количестве не более 10% от массы партии, но не менее одного крата.

Большую часть производимых ПВЖ в ОАО «ММК» составляют профили верхней и нижней обшивок полувагонов, а также профили крышки люка (рис. 2).

По тем же техническим условиям нормируется параметр «косины реза» профиля, который не должен превышать 5,0 мм. При этом измерение должно производиться угольником, одна сторона которого, прилегающая к продольной кромке, должна быть не менее длины периода измеряемого профиля, а другая – соответствовать ширине профиля. Таким образом, параметр «косина реза», тесно увязанный с параметрами длины профиля, является существенным показателем качества производимых ПВЖ.

Проведенный анализ модели технологической системы производства ПВЖ (см. рис. 1) в ЛППЦ-7 ОАО «ММК» показал, что определяющими свойствами данной системы, влияющими на косину реза, являются свойства технологии и свойства оборудования.

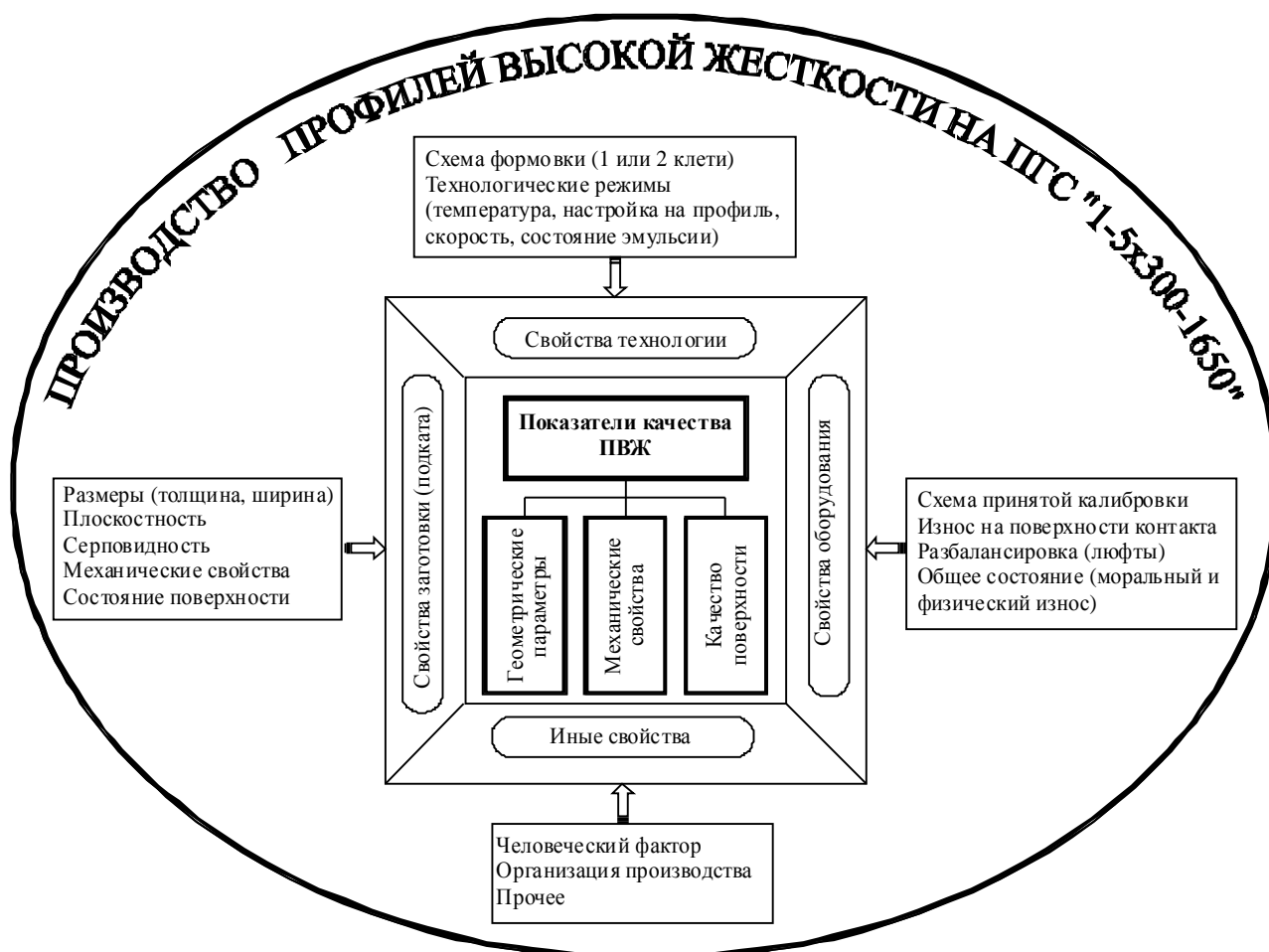


Рис. 1. Модель технологической системы «производство ПВЖ»

Основным технологическим оборудованием, осуществляющим порезку профилей на мерные длины, являлись летучие ножницы конструкции СКМЗ, работавшие в цехе более 30 лет и имеющие существенный моральный и физический износ. В связи с этим в ЛПЦ-7 в рамках концепции реконструкции цеха в 2007–2008 гг. была осуществлена замена суще-

ствующих с момента пуска ЛПЦ-7 летучих ножниц на новые производства фирмы «FIMI» (Италия).

Используя принцип изменчивости для решения проблемы сокращения количества дефектной продукции [4], появление которой неизбежно в период освоения новой технологии в условиях действующего производства, а также для оценки эффективности реконструкции, было проведено комплексное исследование точности геометрических параметров профилей, получаемых в процессе мерного реза на летучих ножницах фирмы «FIMI». На рис. 3 представлены результаты исследования точности мерного реза на примере ПВЖ «крышка люка» (параметр «100+30», см. рис. 2). Обработка результатов проводилась в программе «Статистика».

Полученные результаты свидетельствуют об удовлетворительном уровне точности мерного реза. При этом параметр «косины реза» не превышает 3–4 мм.

Представленная модель технологической системы производства ПВЖ и проведенный анализ свойств данной системы на ПГС 1–5×300–1650 ОАО «ММК» позволили выявить «узкие» с технологической точки зрения места и оценить эффективность принятых новых технических решений.

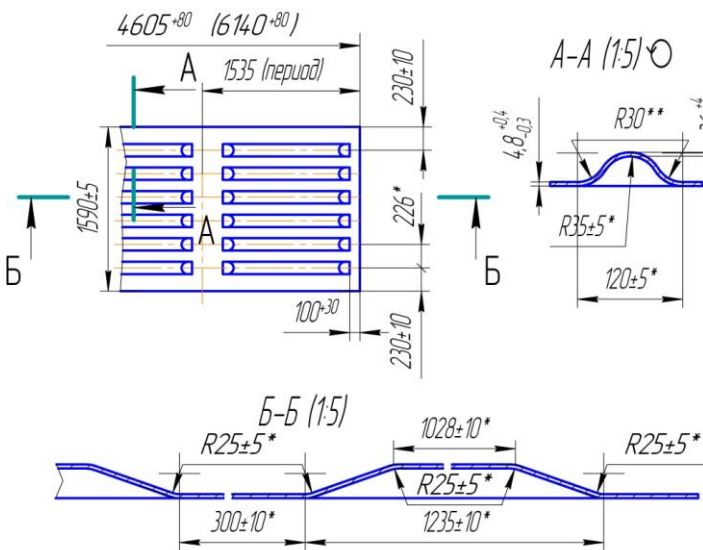


Рис. 2. Схема ПВЖ «крышка люка» по ТУ 14-101-789-2008

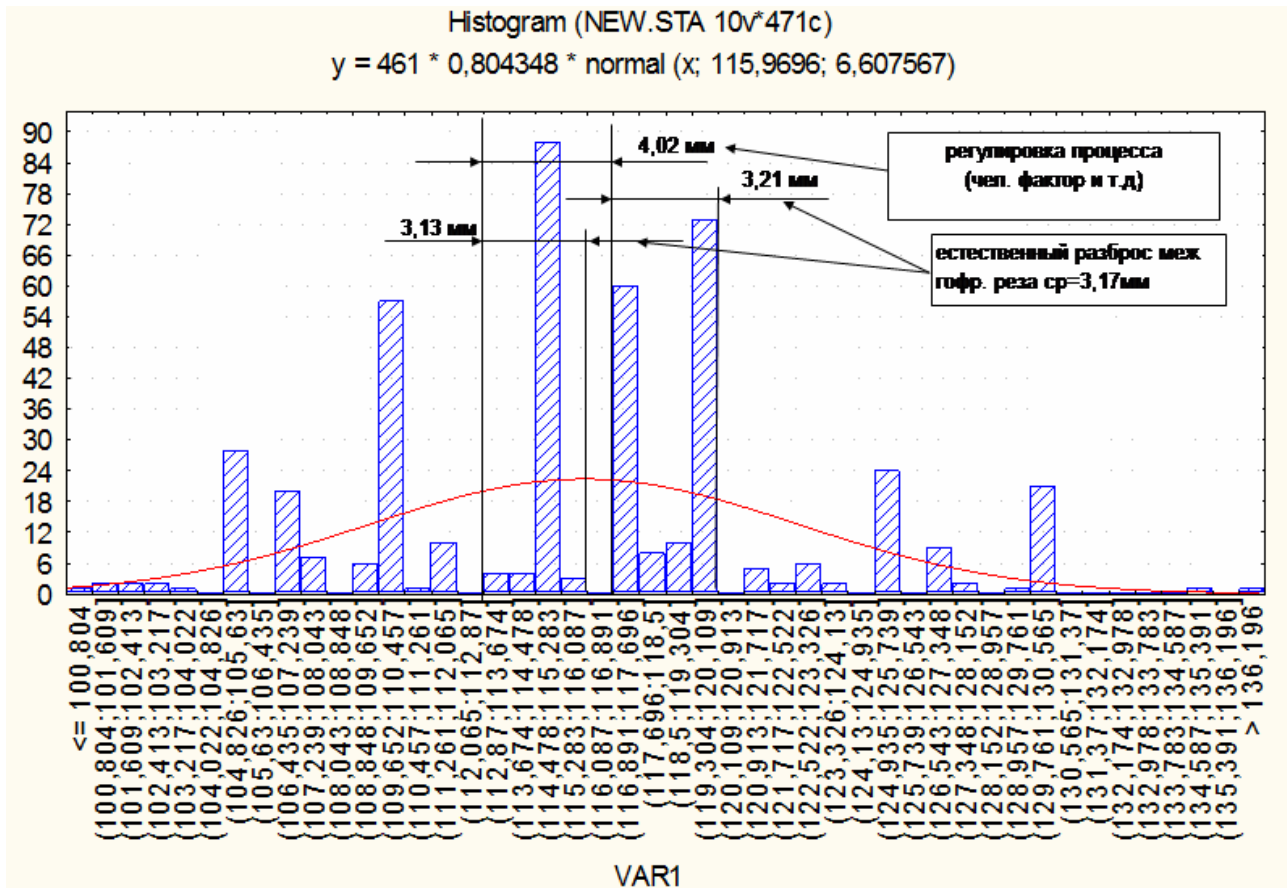


Рис. 3. Результаты исследований точности мерного реза (ПВЖ «крышка люка») на ПГС 1–5×300–1650

Список литературы

1. Перспективы развития производства гнутых профилей в ОАО «ММК» / Бельшев А.С., Голубчик Э.М., Щуров Г.В., Гридневский В.И. // Сталь. 2007. № 2. С. 76.
2. Производство гнутых профилей. Оборудование и технология / Под ред. И.С. Тришевского. М.: Металлургия, 1982. 384 с.
3. Хубка В. Теория технических систем: пер с нем. М.: Мир, 1987. 208 с.
4. Управление качеством. Ч. 1: Семь простых методов / Адлер Ю.П., Полховская Т.М., Нестеренко П.А. М.: МИСиС. 1999. 163 с.

List of literature

1. Belyshev A.S., Golubchik E.M., Churov G.V., Gridnevskiy V.I. Prospects for the development of the production of roll-formed section in joint stock company «MМК» // Steel. 2007. № 2. P. 76.
2. Production of Roll-formed section. Equipment and technology / Edited by I.S. Trishevskiy. M.: Metallurgy, 1982. 384 p.
3. Khubka V. Theory of technical systems / Translated from the German. M.: Peace, 1987. 208 p.
4. Quality Management. Part 1: Seven simple methods / Adler YU.P., Polkhovskaya T.M., Nesterenko P.A. M.: MISaA (Moscow Institute of Steel and Alloys). 1999. 163 p.

УДК 338.51

Баскакова Н.Т.

ПОДСИСТЕМА СМК ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТОВ

Деятельность коммерческих предприятий, работающих в условиях рыночной экономики и конкуренции, для поддержания высокого рейтинга на рынке требует постоянного роста финансовых результатов деятельности предприятия, основанного на эффективной системе менеджмента качества и стратегии управления.

В настоящее время качество управления рассматривается как фактор системной организации предприятия, который обеспечивает успех на рынке, конкурентоспособность и является необходимым условием его нормального финансового состояния.

Обеспечение качества процессов ремонтов и технического обслуживания оборудования промышленного предприятия как подсистема его системы менеджмента качества представляет собой методы, обеспечивающие политику предприятия в области качества технического обслуживания и ремонта оборудования, направленную на снижение себестоимости продукции за счет уменьшения и оптимизации затрат на ремонт агрегатов и оборудования.

Основным недостатком подсистемы планирования ремонтов оборудования СМК является невозможность реальной оценки состояния оборудования из-за отсутствия его мониторинга.

Мониторинг состояния оборудования является правильным моментом при разработке стратегии воспроизводства технического оснащения металлургического предприятия. В ходе мониторинга должна создаваться информационная база, достоверно отражающая фактическое состояние оборудования, контроль за которым в настоящее время на большинстве промышленных предприятий не имеет системного характера и осуществляется различными управленческими структурами, зачастую дублирующими друг друга. С другой стороны, нередки ситуации отсутствия достоверной информации о состоянии оборудования. В связи с этим представляется целесообразным организация мониторинга с целью создания и поддержания актуальной информационной базы о состоянии технического оснащения предприятия.

Организация мониторинга физического состояния оборудования должна включать следующие этапы

(см. рисунок):

- формирование нормативно-справочной информации;
- формирование информационной базы о реальном состоянии агрегатов;
- мониторинг физического состояния оборудования;
- поддержание информационной базы в актуальном состоянии.

Мониторинг физического состояния оборудования должен основываться на нормативно-справочной информации, которая включает в себя справочник состава оборудования, и на информации, отражающей реальное состояние агрегатов, которая включает в себя справочник состояния оборудования и справочник интенсивности использования оборудования.

Основой составления вышеперечисленных справочников является классификация по составу оборудования цехов предприятия на группы, машины, механизмы, узлы и детали. Пример классификации объектов оборудования листопрокатного цеха металлургического предприятия приведен в **таблице**.

Нормативно-справочная информация должна быть представлена справочником состава оборудования. Цель формирования такого справочника – дифференциация технического оснащения предприятия на группы, агрегаты, машины, механизмы, узлы и детали.

Справочник состава оборудования должен содержать информацию о фактической периодичности ремонтов отдельных узлов и деталей, продолжительности, нормативных условиях работы и долговечности. Исходной информацией для формирования данного справочника являются подробные схемы устройства оборудования, технологическая документация и паспорта оборудования.

Детализация машин и оборудования до уровня узлов и деталей позволяет обосновать плановую потребность в запасных частях, нормы и нормативы запасов и установить плановую потребность в материальных ресурсах для выполнения ремонтных работ.

Информационная база о реальном состоянии агрегатов должна содержать данные результатов измере-

ний уровня технических параметров, полученных в ходе мониторинга. Целью формирования справочника состояния оборудования является сравнение нормативных характеристик и фактических параметров технического состояния деталей, узлов, механизмов, машин и оборудования. Исходной информацией для формирования данного справочника являются справочник состава оборудования и результаты измерений уровня технических параметров, полученных в ходе мониторинга. Справочник состояния оборудования содержит информацию о реальном состоянии узлов и деталей, выход из строя которых может привести к простоям и авариям.

Выполненное исследование физического состояния основного оборудования крупного металлургического предприятия по итогам оценки его вибродиагностики позволило выявить превышение нормативного уровня межремонтного периода в пределах 20–300%. Это дает возможность значительно увеличить межремонтный период, изменить структуру ремонтного цикла, что, в свою очередь, позволит сократить затраты на ТОиР.

Структура ремонтного цикла оборудования металлургического предприятия формируется в зависимости от интенсивности износа как необратимой потери производительных возможностей оборудования. Интенсивность загрузки оборудования определяет предельно допустимый износ, превышение которого может привести либо к отказу, либо к аварийному режиму.

Анализ продолжительности ремонтов и структуры ремонтного цикла основного оборудования выявил, что во «Временном положении о ТОиР механического оборудования предприятий черной металлургии» в структуре ремонтного цикла оборудования не учитывается количество и продолжительность технического обслуживания (текущих осмотров). Структура ремонтного цикла по ТОиР и по технической документации не совпадает по количеству текущих ремонтов. В технической документации интенсивность выпуска продукции не отражается на количестве текущих ремонтов. Практика показывает, что учет факторов интенсивности продукции (трудоемкость, качество и т.п.) приводит к изменению количества как текущих, так и капитальных ремонтов.

Целью формирования справочника интенсивности использования оборудования является сравнение нормативных характеристик и

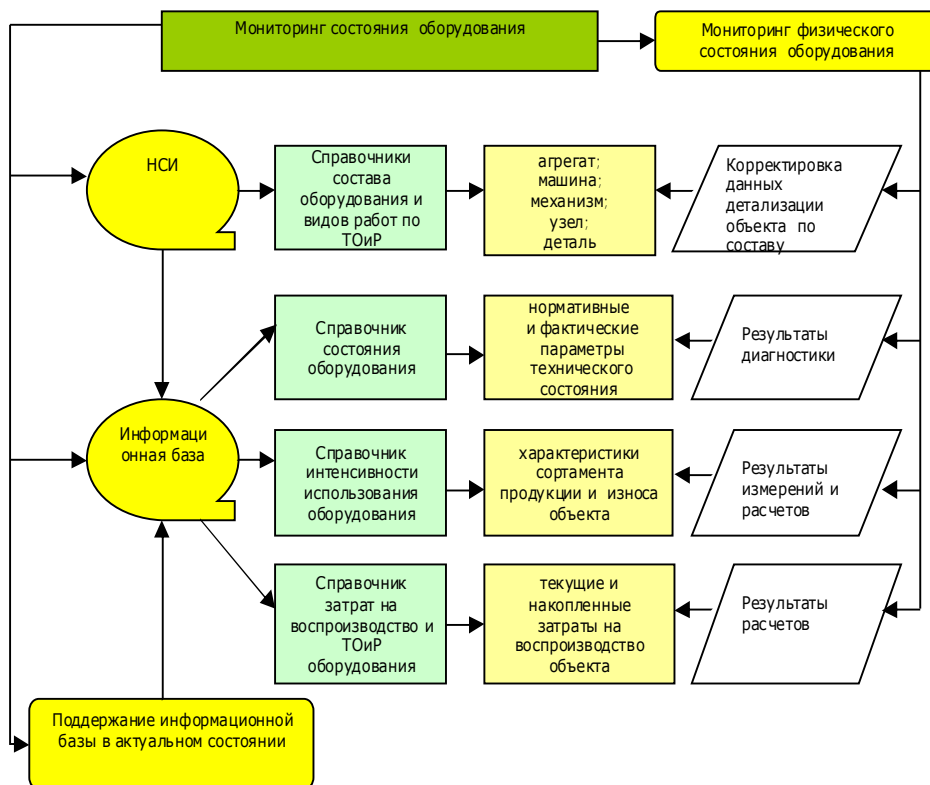
выявление влияния фактической номенклатуры производимой продукции на уровень износа оборудования.

Исходной информацией для формирования данного справочника являются справочник состава оборудования, нормативные и фактические данные уровня технических параметров, полученных в ходе мониторинга. Справочник интенсивности использования оборудования должен отражать информацию о номенклатуре выпуска продукции, влияющей на износ и интенсивность работы оборудования, которая может привести к преждевременным ремонтам, а следовательно, и к росту затрат на ТОиР.

Таким образом, развернутая информация о состоянии агрегатов в разрезе машин, узлов и деталей, о видах ремонтных работ по ним повысит точность планирования, учета и анализа затрат на ремонт оборудования, а также позволит наиболее эффективно управлять про-

Классификация объектов основных фондов листопркатного цеха металлургического предприятия

Уровень иерархии		Прокатное производство
Номер	Наименование	
1	Цех	Листопркатный цех
2	Вид ОПФ (группа)	Рабочие силовые машины
3	Оборудование (агрегат)	Прокатный стан
4	Машина	Клеть рабочая
5	Механизм	Привод горизонтальных валков
6	Узел	Подшипники рабочих валков
7	Деталь	Подшипник Валок



Организация работ по мониторингу состояния оборудования

цессами его технического обслуживания и ремонта.

Организация мониторинга физического состояния оборудования должна включать в себя комплекс мероприятий, связанных с теоретической разработкой и практическим применением методики определения физического состояния агрегатов и созданием в структуре управления предприятия специальной службы, координирующей ремонтные работы на основе результатов контроля и отвечающей за поддержание информационной базы в актуальном состоянии.

Методика определения физического состояния агрегатов предназначена для сбора и накопления текущей информации о режимах работы оборудования, отказах, выполненных ремонтных работах, замене отдельных единиц оборудования, что позволит оптимизировать сроки ремонта и затраты на выполнение технического обслуживания и ремонтов оборудования.

Цель формирования такого справочника – анализ текущих и накопленных затрат на воспроизводство объекта. Исходной информацией для формирования данного справочника являются нормативно-справочная и информационная база о реальном состоянии объектов, нормативные и фактические затраты на их воспроизводство.

Полученные данные используются для выбора варианта полного восстановления:

- 1) проведение работ по ТОиР и продолжение числения износа объекта;
- 2) приобретение нового оборудования (обновление или диверсификация).

Таким образом, внедрение в документацию системы менеджмента качества ОАО «ММК» вышеназванных справочников (см. **рисунки**), позволит оптими-

зировать межремонтный период, структуру ремонтного цикла и приведет к обоснованию суммы затрат на ремонт и содержание оборудования, сократит аварийные простои и возможные потери. Мониторинг позволит, с одной стороны, объективно оценить фактическое состояние основного оборудования, с другой – спланировать сумму затрат на ТОиР на любой период и выбрать оптимальный вариант воспроизводства объекта основных средств.

Список литературы

1. Временное положение о техническом обслуживании и ремонтах (ТОиР) механического оборудования предприятий системы Министерства черной металлургии СССР. М.: МЧМ СССР: ВНИИОчермет, 1983. 389 с.
2. Положение о техническом обслуживании и ремонтах (ТОиР) механического оборудования металлургических предприятий. М.: МЧМ СССР: ВНИИОчермет, 1985. 238 с.
3. Розова Н.К. Управление качеством. СПб.: Питер, 2003. 224 с.
4. Смирницкий Е.К. Экономические показатели промышленности. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Экономика, 1980. 432 с.

List of literature

1. Temporal regulation of mechanical equipment technical maintenance at enterprises of the USSR ministry of Non-Ferrous Metallurgy. M. M.M.N.-F.USSR. VNIIOCHERMET. 1983. 389 p.
2. Regulation of technical maintenance and repair of metize enterprise mechanical equipment. M: MCH.M. USSR: VNIIO Chermet, 1985. 238 p.
3. Rosova N.K. Management of Quality. St-Petersburg. Peter. 2003. 227 p.
4. Smirnitisky E.K. Economic figures in industry. 2-nd edition; elaborated and filled up. M: Economics, 1980. 432 p.

НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

УДК [621.771.06-11:621.822]-192

Дудоров Е. А., Жиркин Ю. В., Паршин П. Р.

ПОВЫШЕНИЕ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ РАБОЧИХ ВАЛКОВ КЛЕТИ «КВАРТО»

Одна из основных задач современного производства – это минимизация затрат на изготовление продукции. В прокатном производстве немалую часть производственных затрат занимают затраты на смазочные материалы и быстроизнашиваемые узлы и детали (уплотнения, подшипники качения и т.д.). В последние годы проведено немало мероприятий по усовершенствованию условий эксплуатации подшипниковых узлов. На станах горячей и холодной прокатки ОАО «ММК» внедрены системы смазывания «масло–воздух», что позволило существенно сократить расход смазочных материалов и повысить стойкость подшипников качения.

Но в настоящее время эффективность системы смазывания «масло–воздух» проявляется не в полной

мере, что большей частью связано со слабой герметизацией подшипникового узла, в результате чего проникающая в него охлаждающая жидкость «вымывает» смазочный материал, что ведёт к нарушению в режиме эластогидродинамической смазки. То же самое происходит и в уплотнителях подшипникового узла, которые начинают работать в условиях отсутствия смазочного материала. Модернизация подшипниковых узлов с целью изменения способа подвода смазочного материала, исключая его «вымывание», позволит существенно повысить стойкость подшипников качения и уплотнителей.

При условии реализации жидкостного либо полужидкостного трения [1] в зоне контакта манжеты формируется слой смазочной пленки Δh , который препятствует «прямому» контакту уплотнения и вала, при этом в зоне контакта отсутствуют экстремальные температуры при трении. Стойкость манжет увеличивается многократно в сравнении с отсутствием таких режимов трения.

Рассмотрим схемы взаимодействия радиальной манжеты с валом (рис. 1) при наличии и отсутствии смазочного материала.

При отсутствии в зоне контакта смазочного материала происходит заполнение микронеровностей поверхности вала материалом манжеты (рис. 2), что ведёт к разогреву места контакта и интенсивному износу манжеты с последующим выходом ее из строя. Это приводит к нарушению герметизации подшипникового узла, сопровождающемуся проникновением в него воды и механических примесей.

При отсутствии прямого контакта кромки манжеты с поверхностью вала за счёт реализации жидкостного либо полужидкостного трения (рис. 3) возникает смазочный слой Δh между манжетой и валом, разделяющий их микрорельефы. Это и является эталоном нормальной работы манжеты, при котором минимизируются потери на трение, происходит менее интенсивный нагрев зоны контакта и наиболее благоприятно осуществляется отвод тепла из зоны контакта за счет возникновения эффекта всасывания (см. рис. 3). При этом слой смазочного материала Δh является преградой для проникновения агрессивной среды в подшипниковый узел, образуя своего рода границу – «мениск» [1, 3].

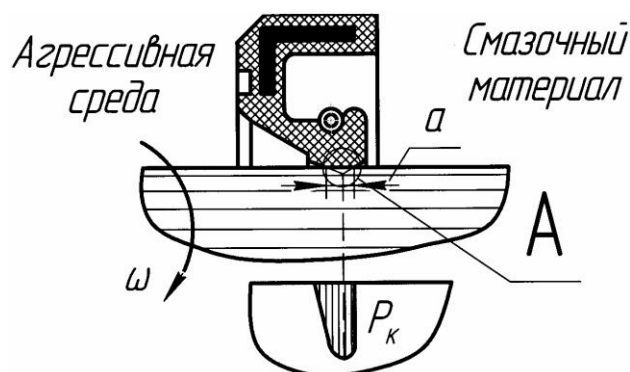


Рис. 1. Схема взаимодействия радиальной манжеты с валом

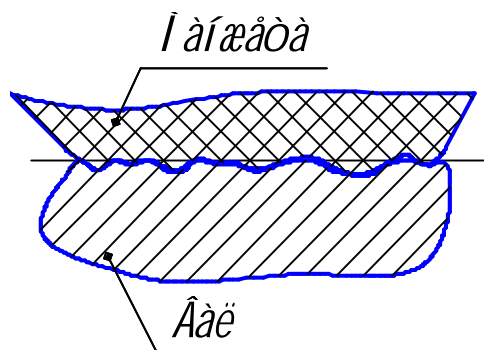


Рис. 2. Схема контакта манжеты с валом без смазочного материала

При отсутствии смазочного материала в межманжетной полости в подшипниковый узел через манжету «всасывается» охлаждающая жидкость, и чем больше скорость вращения валка, тем большее количество воды проникает в подшипниковый узел, что подтверждается анализом проб, взятых из ПУ после его эксплуатации [4]. При этом проникающая вода реагирует с маслом, изменяя его химические свойства, и тем самым нарушает эластогидродинамический режим работы подшипникового узла.

При существующей расстановке в направлении манжет (рис. 4) они установлены друг к другу, и как правило, «работает» только одно уплотнение, которое

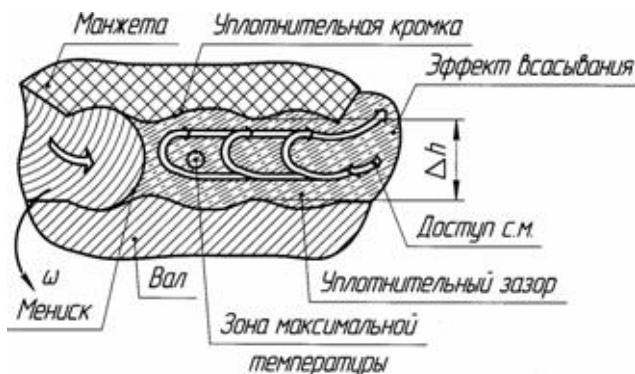


Рис. 3. Схема контакта манжеты с валом при наличии смазочного материала

находится ближе к источнику смазочного материала, другие уплотнения, в свою очередь, работают в условиях отсутствия смазочного материала, тем самым снижается их ресурс.

Одним из путей решения данной проблемы может явиться изменение схемы подвода смазочного материала к манжетам (рис. 5). При применении системы смазывания «масло-воздух» этого можно достичь, установив в подшипниковый узел встраиваемые делители потока [5]. Они позволяют разделить маслвоздушный поток на необходимое количество потоков. В данном случае применены делители потока, позволяющие обеспечить подачу смазочного материала на ролики подшипников качения, а также на кромки манжет через специальные отверстия в разделительном кольце.

Принцип работы делителя потока основан на реализации эффекта Коанда (или эффект чайника). Влияние силы тяжести в делителе потока сведено к минимуму, а пропорциональное деление маслвоздушного потока зависит от отрыва пограничного слоя смазочного материала от стенок трубопровода под действием воздушного потока и, в основном, лимитируется площадью поперечного сечения отверстия $S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$, а также количеством отверстий.

Расчёт делителя потока необходимо сводить к определению количества смазочного материала, необходимого для подачи к дорожкам качения под-

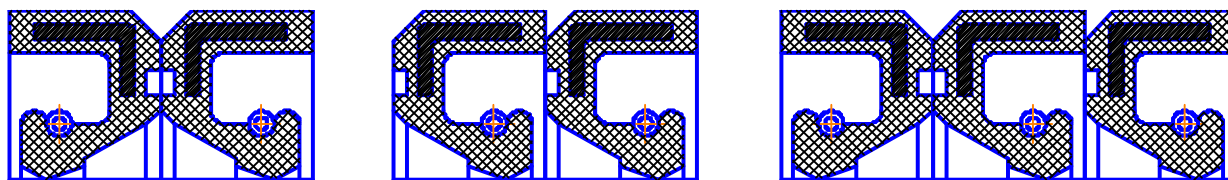


Рис. 4. Схема контакта манжеты с валом при наличии смазочного материала

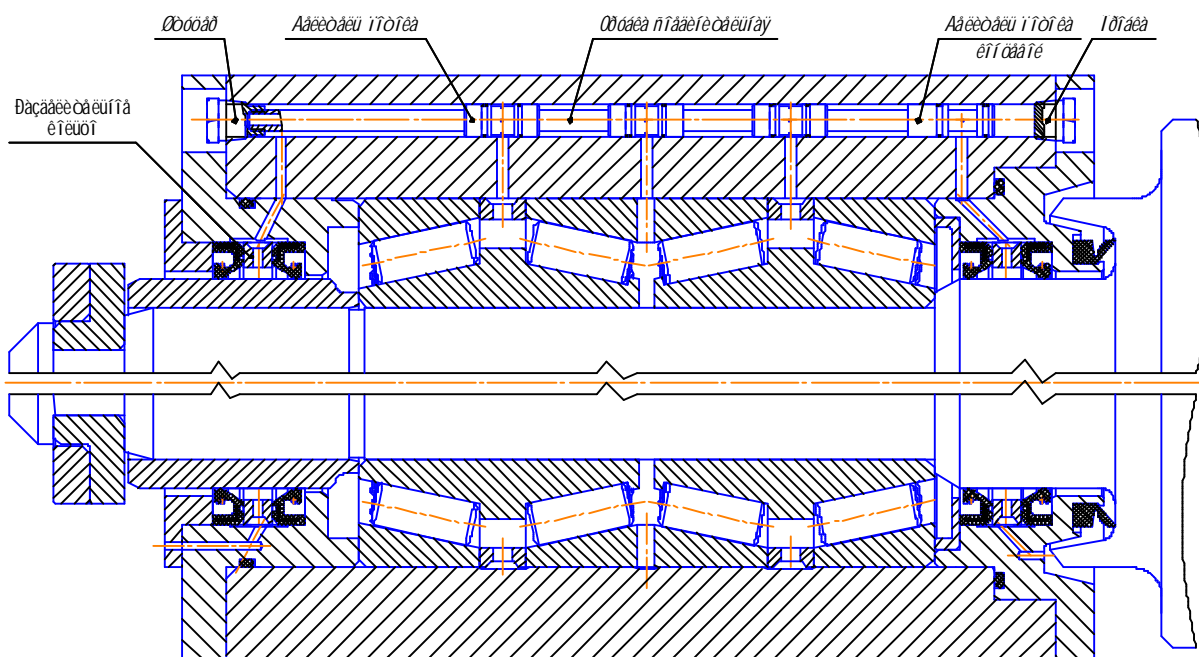


Рис. 5. Установка делителей потока в подшипниковом узле

шипника и к кромкам манжет для работы их в режиме жидкостного трения.

Для обеспечения герметичности подшипникового узла необходимо, чтобы усилие, создаваемое манжетой, составляло $P \geq 0,2$ Н/мм, при этом масло в щели между манжетой и валом должно просачиваться без каплеобразования, что соответствует 2–1 классу негерметичности [1].

В среднем нормой для манжеты является утечка в пределах $0,1$ см³/ч. Мощность трения вследствие столь малой утечки практически равна тепловыделению Q_f в зоне контакта:

$$N_f = Q_f \quad M_f \cdot \omega = 0,5 \cdot \pi \cdot f \cdot \bar{P} \cdot D^2 \cdot \omega,$$

где M_f – момент трения, Н·м; D – диаметр поверхности трения, м.

Распределение тепловых потоков из зоны контакта в вал Q_v и манжету Q_m определяется уравнением

$$Q_f = Q_v + Q_m \approx Q_v;$$

$$Q_v = \lambda_v \cdot Q_f / (\lambda_v + \lambda_m),$$

где λ_v, λ_m – теплопроводность материалов вала и манжеты (для стали $\lambda_v = 50$ Вт/(м·°С), для резины $\lambda_m = \lambda_p = 0,23$ – $0,27$ Вт/(м·°С)). Для примера теплопро-

водность жидкости или газа: для масел – $\lambda_{ж} \approx 0,1$ Вт/(м·°С), для воздуха – $\lambda_{ж} \approx 0,026$ Вт/(м·°С).

Утечки через манжетное уплотнение (рис. 6) можно рассчитать по формуле

$$Q_{ym} = \pi \cdot D^2 \cdot \frac{n}{60} \cdot \text{tg} \gamma \cdot \frac{\Delta h}{2},$$

где n – частота вращения, об/мин; γ – угол неперпендикулярности уплотняющей кромки к оси вала, $\gamma = 1$ – 3° ; Δh – толщина смазочного слоя, м.

Из данного уравнения можно найти утечки через манжеты и в дальнейшем принять их в качестве требуемого количества смазочного материала, необходимого для непрерывного смазывания манжет.

Количество смазочного материала $Q_{нк}$, см³/ч, необходимое для смазывания подшипника качения, найдём по формуле [2]

$$Q_{нк} = (0,00001 \text{ — } 0,00006) \cdot D \cdot B,$$

где D – наружный диаметр подшипника, мм; B – ширина подшипника, мм.

Тогда общее количество смазочного материала, необходимое для подшипникового узла, найдём по формуле

$$Q_{\Sigma} = Q_{ym} \cdot n_1 + Q_{нк} \cdot n_2,$$

где n_1, n_2 – количество уплотнений и подшипников качения в узле соответственно.

Исходя из данных расчётов производим расстановку и подбор делителей потока для установки в подшипниковый узел (см. рис. 5), при этом применяем делители потока с различным количеством и диаметром отверстий для деления маслoвоздушного потока с заранее вычисленной пропорцией.

Также необходимо учитывать, что избыточное давление в подшипниковом узле и в полости между манжетами различны (рис. 7):

$$P_1 > (P_2 = P_3) > P_0,$$

где P_1 – избыточное давление воздуха в зоне подшипника качения, $P_1 \approx 0,02$ – $0,08$ МПа; P_0 – атмосферное давление, МПа; P_2, P_3 – избыточное давление в зоне манжет.

$P_2 \approx P_3$ – может быть изменено в ту или иную сторону в зависимости от конструкции подшипникового узла.

$$P_1 > P_2 > P_0.$$

При этом в нижней части уплотнительного узла предусмотрено дренажное отверстие, позволяющее удалить СОЖ (в случае проникновения его через первую манжету) с помощью воздушного потока. Проникновению СОЖ в уплотнительную полость препятствует создаваемое там избыточное давление воздуха P_2, P_3 . А полость подшипника качения дополнительно уплотняется избыточным давлением воздуха P_1 , равным $0,1$ – $0,3$ бар. Так как $P_1 > (P_2 = P_3) > P_0$, то возникает поэтапное герметизирование подшипника качения, почти полностью исключающее попадание в него СОЖ.

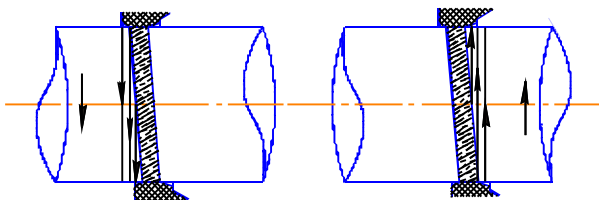


Рис. 6. Утечки смазочного материала через манжету

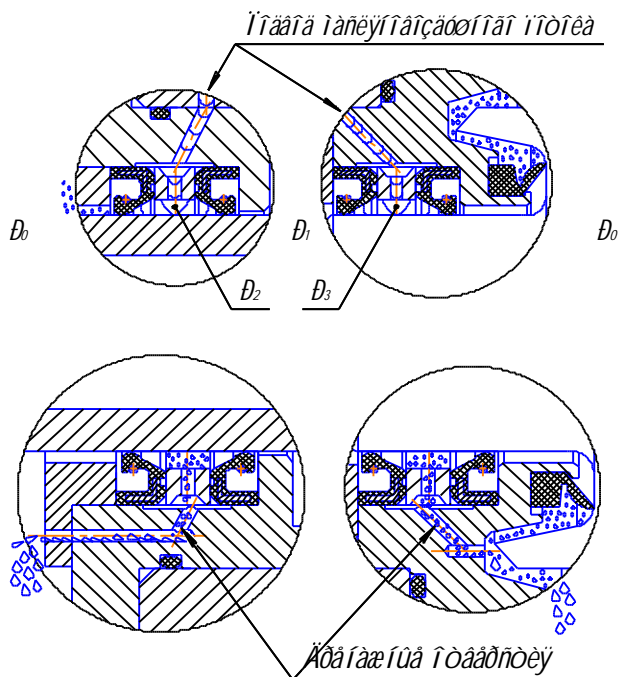


Рис. 7. Схема герметизации подшипникового узла

Заключение

1. При использовании систем смазывания «масло–воздух» с целью герметизации подшипникового узла эффективным является применение в них делителей потока маслораздушной смеси.

2. Один из потоков маслораздушной смеси направляется в полость между манжетами, избыточное давление которого меньше избыточного давления в зоне подшипника качения.

3. Обеспечивается смазывание манжет, что приводит к увеличению срока их службы и экономии.

4. Герметизируется межманжетная область, препятствующая попаданию СОЖ.

5. В зоне манжет имеется возможность удалить СОЖ через дренажные отверстия, тем самым герметизируется область ПК.

Список литературы

1. Уплотнения и уплотнительная техника: справочник / Л.А. Кондаков, А.И. Голубев, В.Б. Овандер и др.; под общ. ред. А.И. Голубева, Л.А. Кондакова. М.: Машиностроение, 1986. 464 с.

2. Главный каталог фирмы SKF.
3. Главный каталог фирмы MERKEL.
4. Мироненков Е.И., Жиркин Ю.В., Дудоров Е.А. // Материалы 63-й науч.-техн. конференции. Магнитогорск, МГТУ, 2005.
5. Дудоров Е.А., Жиркин Ю.В. Модернизация подшипникового узла с целью продления его ресурса // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2007. № 4. С. 94–96.

List of literature

1. Tightening and tightening technical equipment: Reference book / Kondakov L.A., Golubev A.I., Ovander V.B. etc. under the common edition of Golubev F.I and Kondakov L.A. M.: Machinebuilding, 1986, 464 p.
2. Main Catalogue SKF.
3. Main Catalogue MERKEL.
4. Mironenkov E.I., Zhirkin Y.V., Duodorov E.A. // Collected Volume of 63th Scientific-Technical conference materials. Magnitogorsk: MGTU, 2005.
5. Duodorov E.A., Zhirkin Y.V. Modernizing of bearing units in order to prolong its working life // Vestnik MGTU named after G.I. Nosov. 2007. № 4. P. 94–96.

УДК 621.771

Кадошников В. И., Куликов С. В., Куликова Е.В., Кадошникова И.Д., Аксёнова М.В.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Одной из важнейших проблем создания нового и модернизации уже имеющегося оборудования металлургической промышленности является обеспечение его эффективной и безотказной работы. Главная задача металлургического оборудования – выпуск определённого объёма продукции, т. е. выполнение определённого количества работы. Для поддержания оборудования в работоспособном состоянии предприятиями используются методы обслуживания, которые условно можно разделить на три группы:

1. Обслуживание оборудования после выхода его из строя.

В этом случае производственный процесс продолжается до выхода механизма или его элемента, узла из строя. В основном это касается дешёвого оборудования, когда его замена занимает меньше времени и денежных затрат нежели его ремонт. Металлургическое оборудование представляет собой многодвигательную сложную техническую систему, состоящую из множества весомых и дорогостоящих механизмов. Поэтому ведение обслуживания оборудования на металлургическом производстве по такому принципу вызывает не только значительные денежные, но и временные затраты.

2. Обслуживание оборудования по регламенту.

Для поддержания оборудования в работоспособном состоянии предприятиями разрабатываются графики ремонтов, основанные на двух системах:

- планово-предупредительные ремонты (ППР);
- текущее обслуживание и ремонты (ТОиР).

В настоящее время предприятия пытаются совместить обе системы проведения ремонтов путём разработки структуры ремонтного цикла по системе

ППР на год с примерной разбивкой затрат по месяцам. В течение года проведение ремонтов происходит по системе ТОиР, исходя из фактического состояния оборудования в пределах выделенных лимитов каждого цеха на определённый агрегат. При этом снижение потерь от аварийных простоев оборудования предприятия пытается достичь путём увеличения запаса необходимых деталей и узлов.

Однако до 50% (P/PM Technology magazine, 98) из числа всех технических ремонтов по регламенту проводятся без их фактической необходимости. Таким образом, во многих случаях обслуживание и ремонт по регламенту не снижает частоту выхода агрегата из строя. Кроме того, если обслуживание предусматривает разборку и замену деталей, надёжность работы машин и оборудования зачастую может быть снижена ввиду последующей неправильной сборки. Исследования показали (P/PM Technology magazine, Apr 98), что до 70% дефектов вызваны техническим обслуживанием агрегатов.

Эффективность технического обслуживания машин по регламенту может быть повышена, если периодичность ремонтных работ будет определяться методами статистического анализа данных. Относительно повышения работоспособности оборудования и механизмов можно выделить два статистических подхода к составлению регламента: анализ надёжности и анализ качества.

Анализ надёжности [5] базируется на среднестатистических показателях времени между отказами, времени до отказа, срока службы, времени простоя, времени восстановления и т.д. Таким образом, основной задачей исследования по данному принципу является вычисление

НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ние «времени жизни» детали, узла, механизма. В рамках ТОиР результаты статистического анализа надёжности дают возможность заранее обеспечить необходимыми запасными частями производительную систему. Для того чтобы любая работа по оцениванию безотказности была значимой, требуется её документальная фиксация, т.е. существует необходимость создания справочника по надёжности компонентов исследуемой технической системы. Подобные справочники существуют за рубежом (US MIL HANDBOOK 217, США – электроника; HRD, Великобритания – электроника, телекоммуникация; OREDA – данные по надёжности в морских условиях и т.д.), однако не существует источников данных о надёжности элементов производительных систем металлургической промышленности, а большинство из существующих относительно других отраслей производства содержат лишь общие данные, которые не позволяют сделать прогнозных расчетов. Очевидно, что наибольший эффект от исследования надёжности будет достигнут путём создания на каждом предприятии собственного справочника

оборудования, информация в котором должна заполняться на основе подробной схемы устройства оборудования, технологической документации, паспортов оборудования [1]. На наш взгляд, уровень иерархии справочника оборудования должен включать следующие уровни:

- цех;
- группа основных средств;
- агрегат;
- машина;
- механизм;
- узлы отдельных единиц оборудования;
- детали узлов, отдельные единицы оборудования (запчасти).

Далее справочник оборудования необходимо дополнить информацией о средней периодичности ремонтов отдельных узлов и деталей, интенсивности отказов, установленных для определённых видов отказов, продолжительности и трудоёмкости работ. Детализация агрегатов, машин и оборудования до уровня узлов и деталей позволит обосновать плановую потребность в

Контрольный листок регистрации данных об отказах оборудования стана-2500 г.п. ЛПЦ-4

Оборудование		Год наблюдения					
		2006		2007		2008	
Участок	Наименование	число отказов	% от общего числа отказов	число отказов	% от общего числа отказов	число отказов	% от общего числа отказов
Подпечной рольганг	Рольганг печей № 1–6	1	1,2			4	5,5
Чистовая группа	Линейки передчистовым окалиноломателем			4	6,8		
Межклетьеовое оборудование	Проводковые столы перед клетями № 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11					5	6,9
	Линейки передклетями № 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11	7	8,2	7	11,7		
	Редукт ора проводковых столов перед клетями № 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11	3	3,5	1	1,7		
	Ролик за черновым окалиноломателем					4	5,5
Клеть № 6	Стойки провала шестеренной клетки № 8			3	5,1		
Клеть № 9	Шестеренная клеть № 9			2	3,4		
Центральный рольганг	Бортовины рольганга	2	2,4			2	2,7
	Межроликовые плиты рольганга						
	Ролики рольганга	9	10,6	2	3,4	10	13,7
Моталка № 4	Барабан 850	1	1,2				
Моталка № 5	Кассеты в сборе					1	1,4
Моталка № 7	Барабан 850					1	1,4
Конвейер № 2	ремонт			2	3,4		
	Цепи конвейера	10	11,7			1	1,4
Застревание на моталках		5	5,8	7	11,7	10	13,7
Застревание на клетях		1	1,2	2	3,4	1	1,4
Не перестроились линейки		1	1,2				
Застревание на центральном рольганге		1	1,2	1	1,7	6	8,2
осмотр валков чистовой группы		7	8,2	3	5,1		
осмотр моталок		1	1,2			2	2,7
настройка моталок		2	2,4	1	1,7	6	8,2
осмотр валков черновой группы		1	1,2				
чистка моталок		11	13				
поломка ролика под толщиномером		3	3,5	1	1,7		
калибровка клетей		2	2,4	1	1,7		
перевалка клетей		10	11,7	5	8,5		
реверсивная клеть		2	2,4	6	10,2	6	8,2
уширительная клеть				2	3,4	3	4,1
не работали краны на загрузке		5	5,8	1	1,7	8	11
вывод из работы клетки				6	10,2	3	4,1
ИТОГО		85	100	59	100	73	100

запасных частях, оптимизировать систему нормирования запасов и материально-технического обеспечения производственных заказов при выполнении работ по ремонтам ОПФ. Привязка к отдельным единицам оборудования в справочнике видов и объемов ремонтных работ повысит точность бюджетирования, управленческого учёта и анализа затрат на ремонт.

Однако в существующих жёстких условиях рыночной экономики, фирмы-производители всё больше внимания уделяют понятию качества. С точки зрения анализа качества [8] можно подойти не только к выпускаемой продукции, как это принято в современных исследованиях и литературе, но и к самому производственному процессу, используя существующие в данном направлении методы. Основываясь на графико-вероятностных методах [8] и контрольных картах, анализ качества позволяет быстро визуализировать статистические данные, выполнить хотя бы на вербальном уровне (визуальном) причинно-следственный анализ, выделить главные причины простоев оборудования и выбрать критерии для принятия решений по управлению качеством производственного процесса.

На первоначальном этапе любого статистического анализа необходимо собрать и классифицировать данные. Таким образом, составляют некоторое количество экспертных оценок относительно процесса эксплуатации технологической системы, на основании которых и определяется качество рабочего процесса. Измеряемые или определяемые экспертным методом показатели качества должны быть записаны в контрольный журнал или занесены в базу данных компьютерного учёта наблюдаемого процесса, что значительно ускорит обработку получаемой информации и принятие компетентного решения по улучшению качества. На уровне цеха процесс сбора статистических данных удобно начать с заполнения контрольного листка. Контрольный листок – бланк для первичного сбора информации, они могут быть использованы для определения видов, интенсивности отказов поэлементно. Форма бланка должна быть предельно простой, удобной для визуального анализа данных. В таблице приведён Контрольный листок регистрации данных

об отказах стана-2500 г.п. ЛПЦ-4 ОАО «ММК». Данный список отказов характерен для определенного периода наблюдения и, возможно, что со временем потребуются корректировать контрольный листок, отражая в нём новые виды отказов оборудования. Таким образом, контрольные листки качества – весьма удобный инструмент для первичного анализа качества данных, особенно когда выборка содержит большое число наблюдений.

С помощью анализа качества можно произвести не только качественный, но и причинно-следственный анализ [8]. Метод причинно-следственного анализа на основе диаграммы Исикавы позволяет уяснить связь между входными признаками процесса и результативными. На схеме Исикавы можно подробно пронаблюдать влияние тех или иных факторов на производственный процесс. Пример такой схемы показан на рис. 1.

Для того чтобы знать, на какой узел, механизм сложной многодвигательной системы нужно обратить внимание в первую очередь при проведении технического обслуживания и ремонтов, что является главным источником возникновения аварийных ситуаций, имеет смысл составить диаграмму Парето [8]. Причинно-следственный анализ по данному принципу можно проанализировать в двух направлениях: относительно того, на ремонт каких узлов технической системы затрачивается больше всего времени, и относительно количества выхода из строя механизмов агрегата. На диаграмме Парето результаты анализа упорядочены от самой главной причины к менее важной.

Таким образом, если регламент ремонтных работ базируется на статистических данных и подходах, то согласно регламентирующим документам период между обслуживаниями обычно составляет время, в течение которого не менее 98% оборудования работает безотказно [6].

3. Обслуживание по диагностическим показателям [6].

Данный вид обслуживания механизмов и элементов технических систем предполагает либо периодический контроль (в отсутствии дефектов), либо контроль, зависящий от результатов диагноза и прогнозов технического состояния. Проведение ремонтов при таком подходе производится только тогда, когда возникает необходимость в связи с наступлением высокой вероятности отказа оборудования, тем самым не нарушается работа всей технической системы из-за вмешательства человека. Необходимость контроля в зависимости от технического состояния в первую очередь связана с требованием максимального использования рабочего ресурса и в то же время сведения к минимуму аварийных ситуаций.

В настоящее время существует несколько методов контроля состояния технического оборудования, выбор того или иного зависит от типа диагностируемого оборудования (рис. 2).



Рис. 1. Диаграмма Исикавы, отражающая процесс работы стана-2500 г.п. ЛПЦ-4 ОАО «ММК»

Каждый из методов предполагает использование специальных устройств и программного обеспечения. Но основное механическое и электромеханическое оборудование наиболее эффективно диагностируется по вибрации, так как:

- колебательные силы возникают непосредственно в месте появления дефекта;
- вибрация содержит максимальный объем диагностической информации;
- диагностировать можно на месте без разборки и остановки оборудования.

При правильном анализе полученной информации необходимость анализа смазки, контроля температуры отпадает, их заменяет анализ вибрации.

С развитием компьютерных технологий стали развиваться средства автоматической сборки и обработки образов, которые рассматриваются вибродиагностикой. Подавляющее число программных продуктов, обработки информации о вибрации, ориентировано на совместное использование со специальным прибором. Наиболее известные фирмы-производители оборудования и программных продуктов для реализации вибрационной диагностики:

- группа «Ресурс»: Ресурс-Вибро, Ресурс-Подшипник, Ресурс-Подшипник-2 и др.;
- ООО ПФФ «Вибро-Центр»: Аврора, Аврора-2000, Атлант, Паллада+, Ариадна, Аргус;
- ЗАО «Промсервис»: ДИЭС, ВИЭС, ДиаLight, СЕМАФОР, САДКО и др.;
- инженерная фирма «Инкотес»: АРМИД, Web-АРМИД, АНАЛИЗ, ЭКСПЕРТ и др.;
- ИТЦ «Диагностика»: Спектр, Диагностика, Паспорт, Графика;
- ИТЦ «Оргтехдиагностика»: Виброник, Виброанализ-2.5, Программный тренажер по вибродиагностике;
- АО «ВиброАкустические Системы и Технологии»: DREAM for Windows, VAST-BAL;
- ООО НПП «Мера»: ПП ПОС, WinPOS;
- ОАО «ДИАМЕХ-2000»: ДИАМАНТ2;
- ООО «Компания ОКТ АВА+»: ОКТ АВА 2.2;
- ЗАО «Технические Системы и Технологии»: VibroMedia;
- ЗАО ПО «КонТест»: КонСпект;
- PREDICT/DLI: ExpertALERT for Voyager;
- Комаров В.В.: PVT.

В зависимости от типа оборудования изменяется и набор контролируемых величин. Так, для исследования подшипников скольжения металлургических объектов помимо контроля вибрации подшипниковых узлов в обязательном порядке должен про-

водиться контроль относительной вибрации и осевого сдвига. В области вибрационной диагностики фирмой «ДИАМЕХ 2000» был разработан универсальный комплекс «Алмаз-7010», позволяющий отслеживать как вибрационные, так и тепломеханические параметры: частоту вращения, линейные перемещения, тепловые абсолютные и относительные расширения, угловые перемещения и температуру. На рис. 3 и 4 показаны структуры системы «Алмаз-7010» и измерительного канала данного комплекса.

Использование современных технологий диагностики технического состояния оборудования по вибрации,



Рис. 2. Методы диагностики

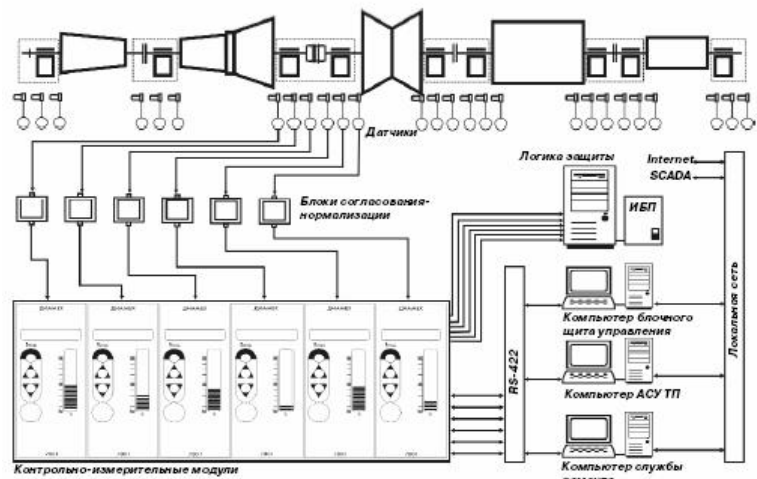


Рис. 3. Структура системы «Алмаз-7010»

кроме основной своей задачи – определение технического состояния оборудования и выявление дефектов, позволяет выполнить ряд следующих функций:

- прогнозирование состояния исследуемых объектов на заданный срок;
- определение даты следующей диагностики;
- подготовка информации о регламентных работах, сроках и объёмах проведения;
- отслеживание развития отдельных дефектов;
- указание проблемных узлов механизма на кинематической или мнемосхеме;
- ввод и определение диагностических признаков и т.д.

Подход обслуживания по техническому состоянию даёт не только экономический эффект благодаря значительному сокращению аварийных простоев и рациональному использованию ресурса запасных частей, но и сокращает общее время ремонтных операций, значительно повышая их эффективность.

Однако при переходе предприятий с системы обслуживания оборудования по регламенту на обслуживание по диагностическим признакам могут возникнуть трудности, связанные с дороговизной оборудования и нехваткой высококвалифицированных специалистов требующего профиля, способных правильно трактовать полученные в ходе диагностики данные.

Таким образом, относительно металлургических машин можно сказать, что они имеют значительный срок службы, относятся к высоконагруженным, физически быстро стареющим объектам, которые за срок службы подвергаются многочисленным текущим и нескольким капитальным ремонтам, в результате чего их технические характеристики ухудшаются. Поэтому для ряда металлургических машин и их составных частей не существует достаточно эффективных и обоснованных стратегий выполнения ремонтных мероприятий. Наиболее эффективный подход к решению данной проблемы основывается на использовании статистических методов анализа данных о предшествующей работе стана, с использованием диагностики, позволяющей учесть фактическое состояние оборудования, изменчивость эксплуатационных условий и состояние всех элементов технической системы.

Список литературы

1. Оптимизация планирования ремонтов в условиях металлургического предприятия / Куликов С.В., Кадошников В.И., Баскакова Н.Т. // Материалы 66-й науч.-техн. конференции: сб. докл. Т. 2. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. С. 158–163.
2. Моделирование надёжности агрегатов прокатного производства как сложных технических систем / Кадошников В.И., Куликов С.В., Шестопалов Е.В., Куликова Е.В. // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2007. № 4. С. 96–98.

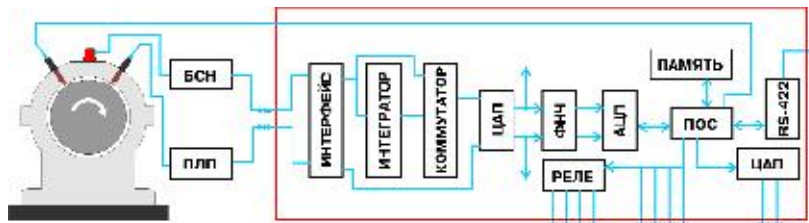


Рис. 4. Структура измерительного канала комплекса «Алмаз-7010»: ПЛП – преобразователь линейных перемещений; БСН – блок согласования-нормализации; ЦАП – цифроаналоговый преобразователь; ФНЧ – фильтр низких частот; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ПОС – процессор обработки сигналов

3. Диагностика и прогноз технического состояния оборудования целлюлозно-бумажной промышленности в рыночных условиях / Ю.А. Азовцев, Н.А. Баркова, В.А. Доронин // Бумага, картон, целлюлоза. 1999, май.
4. Авакумов С.И., Сидоров А.В. Разработка экспертных систем распознавания технического состояния оборудования // Инженер. Студенческий научно-технический журнал. Донецк: ДонНТУ, 2004. № 5. С. 156–162.
5. Смит Д.Дж. Безотказность, ремонтпригодность и риск. Практические методы для инженеров, включая вопросы оптимизации надёжности и систем, связанных с безопасностью / пер. с англ. Хвилевичко Л.О. М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. 432 с.
6. Баркова Н.А. Введение в виброакустическую диагностику роторных машин и оборудования: учеб. пособие. СПб.: Изд. центр СПбМТУ, 2002. 156 с.
7. Вибрационная диагностика. Ежеквартальный научно-технический журнал о вибродиагностике и балансировке. 2006. № 2(4). 42 с.
8. Девятченко Л.Д. Контрольные карты. Введение в анализ качества: учеб. пособие. Магнитогорск: МГТУ, 2006. 127 с.

List of literature

1. Optimizing of maintenance planning in the condition of metallurgical production / Kulikov S.V., Kadoshnikov V.I., Baskakova N.T. // The 66th scientific Conference collected volume 2 Reports. Magnitogorsk: The Supreme professional association «MSTU named after G.I. Nosov», 2008. P. 158–163.
2. Modelling of reliability rolling units production as complex technical systems / Kadoshnikov V.I., Kulikov S.V., Shestopalov E.V., Kulikova E.V. // Vestnik of MGTU after G.I. Nosov. 2007. № 4. P. 96–98.
3. Diagnosis and Forecasting of technical condition in Cellulose and paper industry in market / Azovtsev J.A., Barkova N.A., Doronin V.A. // Paper, cartoon, cellulose. 1999, May.
4. Avakumov S.I., Sidorov A.V. Treating Expert Systems in identifying of equipment technical condition // Engineer. Student scientific technical journal. Donetsk: Don NTU, 2004. № 5. P. 156–162.
5. Smith. J. Infallibility, maintainability and hazard. Practical manual for engineers, methods of optimization in reliability and safety systems / translated from English by Chvilevitsky L.O. M.: Group IDT», 2007. 432 p.
6. Barkova N.A., Introduction to vibroacoustic diagnosis of rotor units and equipment: school book. St-Petersburg: P.H. Centre S-Pb MTU, 2002. 156 p.
7. Vibration Diagnosis. Quarter Sc-Tech. Journal of vibrodiagnosis and balancing. 2006. № 2(4). 42 p.
8. Deviatchenko L.D. Control Cards. Introduction to analysis of quality: school book. Magnitogorsk: MGTU, 2006. 127 p.

ЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

УДК 669.18 + 621.313.8

Петрищев С.А., Сергеев Ю.С.

РАСЧЕТ МАССОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИСКОВОГО ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Надежность и мобильность машин различного назначения в значительной мере определяется надежностью и энергетической эффективностью установленного на нем электропривода. А характеристики последнего в основном определяются эффективностью его электромеханического преобразователя. Как показывает анализ, применяемые до последнего времени интегральные методики расчетов подобных двигателей основываются на учете экстремальных электромагнитных нагрузок. Такой подход не отображает динамического характера рабочих процессов и не позволяет в расчетах учитывать реактивные моменты и поля рассеяния обмоток в электрической машине. Более того, интегральные методики не позволяют в полной мере оптимизировать режимы коммутации двигателя.

В связи с вышеизложенным, отметим необходимость моделирования процессов как при различных параметрах магнитной системы электрической машины, так и с учётом возможных погрешностей в её изготовлении на ранней стадии разработки перспектив-

ных изделий. Немаловажно наличие в математической модели возможности динамического моделирования работы разрабатываемого привода. Указанные аспекты моделирования предусматривают использование численных методов при проектировании.

В последнее время наличие высокопроизводительных компьютеров и новых программных средств расширяет возможности в постановке вычислительных задач. Так, для решения разнообразных электротехнических задач, главным образом полевых, новым средством исследования распределения магнитного поля (вектора магнитной индукции, вектора напряженности и магнитного векторного потенциала), а также основных электромагнитных параметров (индуктивности, электромагнитной силы и момента) электротехнических устройств и систем является метод конечных элементов и программный пакет на его основе – ANSYS.

Применительно к электроприводам различного назначения подход предусматривает выполнение следующих этапов:

- описание реальных условий эксплуатации проектируемого изделия с учетом многофакторных процессов воздействия на рабочие органы электрической машины;
 - задание начальных и граничных условий, отражающих эти процессы;
 - компьютерный расчет моделируемой системы;
 - анализ статических характеристик, установление закономерностей динамического поведения и корректирование исходных параметров;
 - определение количественных характеристик объекта моделирования, показателей надежности и энергетической эффективности;
 - корректирование рабочих чертежей проектируемого изделия.
- Указанный подход был



Мотор-редуктор MP-70 для аварийно-спасательного инструмента

применен при проектировании дискового вентильного электромеханического привода (см. рисунок), разработанного КБ «Мехатроники» г. Златоуста.

Список литературы

1. Андреева Е.Г., Шамец С.П., Колмогоров Д.В. Конечно-элементный анализ стационарных магнитных полей с помощью программного пакета Ansys: учеб. пособие. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2002.
2. Буль О.Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов. Программа Ansys: учеб. пособие. М.: ИД «Академия», 2006. 288 с.
3. Расчет электромагнитных полей с помощью программного комплекса ANSYS / Вишняков С.В., Гордюхина Н.М., Федорова Е.М. и др.; под ред. проф. Казанцева Ю.А. М.: Изд-во МЭИ, 2003. 62 с.
4. Туровский Я. Электромагнитные расчёты элементов электрических машин: пер. с польск. М.: Энергоатомиздат, 1986. 200 с.

ских машин: пер. с польск. М.: Энергоатомиздат, 1986. 200 с.

List of literature

1. Andreeva E.G., Shamec S.P., Kolmogorov D.V. The final element analysis of stationary magnetic fields by means of a software package Ansys: The manual. Omsk: Publishing OmSTU, 2002.
2. Bul O.B. Methods of calculation of magnetic systems of electric devices. The program Ansys: The manual. Moscow: PH «Academy», 2006. 288 p.
3. Calculation of electromagnetic fields by means of program complex ANSYS / Vishniakov S.V., Gordukhina N.M., Fedorova E.M. and others; Under edition of professor Kazanceva U.A. Moscow: Publishing MEI, 2003. 62 p.
4. Turovsky Ia. Electromagnetic calculations of elements of electric drives: Translate. from the polish. Moscow: Energyatompublishing, 1986. 200 p.

УДК 662.612.31

Задонская Т.А., Швецова Е.С., Копцев В.В.

ГОРЕНИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПОТОКОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Как было показано ранее [1], рациональное горение потоков газозвушной смеси невозможно обеспечить только за счет механизма нормального горения, т.е. за счет нагрева смеси теплопроводностью. Скорость движения температурной волны в подобной газозвушной смеси ничтожно мала [1], порядка $3 \cdot 10^2 - 15 \cdot 10^2$ м/с. Такая скорость распространения пламени не обеспечивает необходимую скорость горения топлива и, что особенно важно, необходимое месторасположение факела. Большинство печей, а вращающиеся печи в особенности, требуют по технологическим условиям расположения зоны горения в непосредственной близости от горелочного устройства. Скорость истечения природного газа из сопла горелочного устройства типа ГЦГ (рис. 1) лежит в пределах $1,2 - 1,5 M_1$ (здесь M_1 – скорость Маха). Высокая скорость обеспечивает, во-первых, подачу в зону горения больших объемов топлива, а, во-вторых, высокоэнергетический газовый поток обеспечивает его высокую степень смешивания со спутным потоком воздуха [2] на внешних поверхностях (боковой конической и торцевой) центрального тела 1. Но высокая скорость газозвушной смеси сдвигала бы зону горения на значительное удаление от сопла горелочного устройства в случае нагрева смеси только за счет теплопроводности. Создание ударной адиабаты обеспечивает активный и быстрый прогрев газозвушной смеси

уже на расстоянии 3–4 калибров от среза сопла [2, 3]. Ударная адиабата является следствием «косого» скачка уплотнения, возникающего при обтекании трансзвуковым потоком препятствия, в данном случае наклона обечайки 2. Зависимость направления косого скачка β от величины угла отклонения потока α_1 приведена на рис. 2. Абрамович Г.Н. [4] приводит подобную зависимость для воздуха при показателе изэнтропии $k=1,4$, тогда как для природного газа с показателем изэнтропии $k=1,306$. Для расчета использовалась зависимость [5]:

$$\text{tg } \delta = \frac{M_1^2 \sin^2 \beta - 1}{\left[M_1^2 \cdot \left(\frac{k+1}{2} - \sin^2 \beta \right) + 1 \right]} \cdot \text{tg } \beta \tag{1}$$

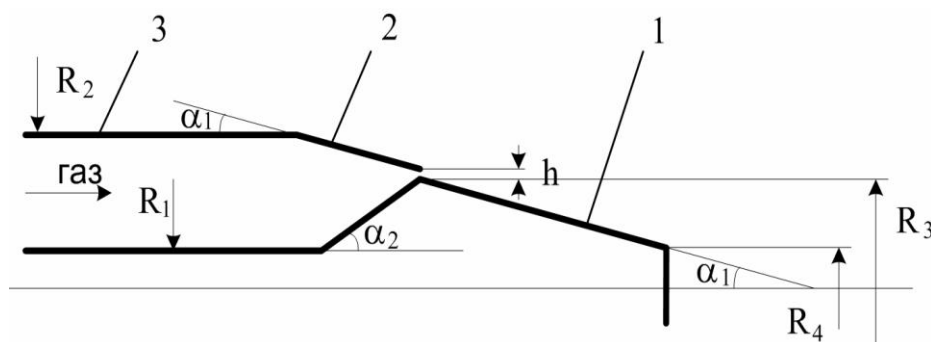


Рис. 1. Схема головки сопла с центральным телом: R_1 – радиус штока; R_2 – радиус цилиндрической трубы горелки; R_3 – максимальный радиус конического центрального тела; R_4 – радиус кормовой части конического центрального тела; h – минимальная ширина кольцевого зазора между обечайкой 2 и центральным телом 1; α_1 – угол конусности обечайки 2 и центрального тела; α_2 – угол конусности лобовой части центрального тела 1

которая также применялась для расчета подобной зависимости, но при $k=1,3$.

Смысл нагрева газовой смеси можно пояснить на следующем примере: при резком качке поршня ручного велосипедного насоса происходит нагрев смеси и от нее – нагрев корпуса насоса, который мы ощущаем. Нагрев происходит за счет прохождения ударной адиабаты, образованной в результате «прямого» скачка уплотнения при резком движении поршня. Любой косой скачок уплотнения можно разложить на нормальную (прямую) и тангенциальную компоненты. Скорость движения поршня мала по сравнению со скоростью трансзвукового газового потока, также относятся и тепловые эффекты, т.е. при прохождении ударной адиабаты (адиабаты Гюгонио) через газовый поток происходит значительный нагрев смеси. Скорость прохождения такой волны пропорциональна углу скачка. Так, при малых значениях углов отклонения потока и рассмотренных скоростях ($M=1,2-1,5$) величины угла скачка лежат в пределах $45-65^\circ$, так как утверждается [5], что плоскому косому скачку отвечают только меньшие значения β . При достаточно малом соотношении ширины кольцевого зазора к его диаметру и всегда очень малой толщине скачка уплотнения формулы для расчета плоскопараллельного (одномерного) косого скачка применимы и к осесимметричному скачку. Процесс преобразования давления в скорость в сверхзвуковом и звуковом потоках протекает без существенных потерь, т.е. примерно при постоянной энтропии и, следовательно, очень близок к идеальной адиабате. Поэтому формулы для расчета идеального сверхзвукового сопла применимы для реальных сопел. Таким образом, скорость распространения ударной адиабаты вдоль оси горелки представляет собой произведение скорости движения ударной адиабаты на косинус угла скачка β .

Приведенная скорость ударной адиабаты за косым скачком уплотнения

$$\lambda_a^2 = \lambda_n^2 \cos^2 \alpha_1 + \frac{\left(1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda_n^2 \cos^2 \alpha_1\right)^2}{\lambda_n^2 (1 - \cos^2 \alpha_1)}; \quad (2)$$

$$\lambda_a = \lambda_n \cdot \cos \beta.$$

При расчетах горения обычно применяют обращенную схему явления, согласно которой газ притекает в зону горения, а фронт ударной адиабаты считается неподвижным. В нашем случае картина горения представляется несколько иначе: в момент достижения концентрации природного газа в газозвуковой смеси, соответствующей верхнему пределу воспламе-

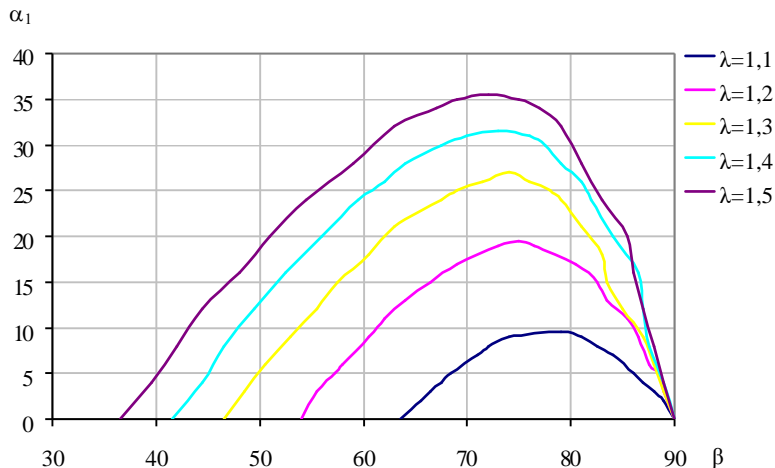


Рис. 2. Зависимость между углом отклонения потока α_1 и углом скачка β при различных скоростях невозмущенного потока (для $k=1,306$)

нения и «прохождения» ударной адиабаты, и начинается процесс горения.

Вывод. Представлена модель высокоскоростного сжигания природного газа, учитывающая эффект детонационной подготовки горючей смеси.

Список литературы

1. Зельдович Я.Б. Теория горения и детонация газов. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1944.
2. Копцев В.В. Методика расчета горелочных устройств на базе сопла с центральным телом // Вестник СамГТУ. Сер. Физико-математические науки. 2007. № 1 (14). С. 148–154.
3. Двухпроводная горелка с центральным телом для газовых одноступенных колпаковых печей / Копцев В.В., Борисова М.П., Казаков О.В., Горбулин В.Н. // Металлург. 2006. № 10. С. 76–78.
4. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика: учеб. руководство для вузов. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1991. 304 с.
5. Дейч М.Е. Техническая газодинамика. 2-е изд., перераб. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1961. 671 с.

List of literature

1. Zeldovich J.B. Theory of burning and detonation of gases. M.; L.: Academy of sciences publishing USSR, 1944.
2. Kopzev V.V. Methodik of counting burning apparatus based on nozzle with central body // Vestnik SamGTU. «Physik and mathematics sciences» Series. 2007. № 1 (14). P. 148–154.
3. Kopzev V.V., Borisova M.P., Kazakov O.V. Two wired burners with central body for oneaxled gas concreted furnaces // Metallurg. 2006. № 10. P. 76–78.
4. Abramovich G.N. Applied dynamic of gases: Training appliances for high school. 5-th edition, remade and added. M.: Science, 1991. 304 p.
5. Deich M.E. Technical dynamic of gases. 2-nd edition, remade. M.; L.: Gosenergo-isdat, 1961. 671 p.

Баранкова И.И., Коринченко Г.М.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АНИЗОТРОПНЫХ ТЕЛ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ

Эксперименты, проведенные при нагреве рулонов ленты и бунтов калиброванной стали в индукционных печах, подтвердили, что интегральные электрофизические и теплофизические свойства этих тел значительно отличаются от свойств металла, из которого они изготовлены.

Анизотропия – явление, заключающееся в том, что физические свойства тел различаются в зависимости от направления. В данной работе решается задача по определению коэффициента температуропроводности бунта стальной проволоки по результатам экспериментальных измерений.

Определение величин коэффициента теплопроводности и удельного электрического сопротивления в аналитическом виде наталкивается на определенные трудности. Некоторые из этих параметров, такие как коэффициент теплопроводности металла, поддаются точному определению, другие, такие как коэффициент заполнения и плотность намотки, являются случайными величинами. Коэффициент эффективной теплопроводности следует рассматривать, как случайную величину, одними из характеристик которых являются математическое ожидание и среднее квадратичное отклонение. Для реальных объектов коэффициент заполнения является также случайной величиной, в той или иной степени отклоняющейся от своего среднего значения. Вследствие этого величина коэффициента эффективной теплопроводности, зависящая от коэффициента заполнения, также должна варьировать по объему.

В настоящее время существует большое количество методов расчета коэффициента теплопроводности композиционных материалов по известным коэффициентам теплопроводности компонентов. Исследования теплопроводности различных двухфазных систем были проведены в работах [1, 2].

Одним из способов определения теплофизических характеристик бунтов проволоки, таких как теплопроводность, является решение обратных задач. Рассмотрим обратную задачу по определению коэффициента теплопроводности бунта проволоки по результатам измерений. Она не является корректно поставленной, как и любая обратная задача теплопроводности.

Задача называется корректно поставленной на паре метрических пространств (F, U) , если удовлетворяются условия:

- 1) для всякого элемента $u \in U$ существует решение из пространства F ;
- 2) решение определяется однозначно;
- 3) задача устойчива на пространствах (F, U) .

Задачи, не удовлетворяющие поставленным требованиям, называются некорректно поставленными. Первое и второе условия характеризуют математическую определенность задачи, третье связывается с

физической детерминированностью задачи, а также возможностью применения численных методов ее решения по приближенным данным.

Для отбора возможных решений используют дополнительную информацию. Такая информация может иметь количественный или качественный характер. Использование дополнительной информации количественного характера приводит к квазирешениям. Использование дополнительной информации, имеющей качественный характер (например, гладкость решений), требует иного подхода к построению приближенных решений.

Во многих случаях физические задачи приводят к задачам определения коэффициентов дифференциальных уравнений (обыкновенных или в частных производных) по некоторым известным функционалам от их решений. Для решения таких задач могут быть использованы метод подбора, метод квазирешения, метод квазиобращения.

Существуют две постановки обратной задачи теплопроводности: первая – отыскание тепловых граничных условий и восстановление поля температуры в теле по результатам температурных измерений в отдельных внутренних точках, вторая – определение эквивалентных (эффективных) значений теплофизических характеристик.

Значения эквивалентных теплофизических характеристик могут быть получены из решения обратной задачи. Обратная задача теплопроводности состоит в нахождении коэффициента теплопроводности λ_i по результатам измерения температуры $u(x_0, t)$ на расстоянии $x_0 > 0$ от границы и $u(0, t) = v(t)$ на границе.

Эта задача сводится к решению интегрального уравнения вида

$$\int_0^t \frac{x_0 \cdot v(\tau)}{\sqrt{4 \cdot \pi \cdot a^2 (t - \tau)^3}} \exp\left[\frac{-x_0}{4 \cdot \pi^2 (t - \tau)}\right] d\tau = u_0(x_0, t) \quad (1)$$

относительно a .

Рассмотрим задачу (1) по определению коэффициента теплопроводности бунта проволоки по результатам измерений. Интегральное уравнение (1) является интегральным уравнением Вольтерры 1 рода.

Общий вид уравнения 1 рода

$$\int_{\Omega} K(x, s) y(s) ds = f(x), \quad x \in Q, \quad (2)$$

где $K(x, s)$ – ядро интегрального уравнения; $f(x)$ – правая часть уравнения с областью определения Q ; $y(s)$ – искомая функция с областью определения Ω -переменной (для уравнений Вольтерры) или постоянной (для урав-

нений Фредгольма). Для уравнения Вольтерры $\Omega=Q$, а для уравнения Фредгольма, вообще говоря, $\Omega \neq Q$.

Задача решения уравнения Вольтерры 1 рода может быть корректной или некорректной в зависимости от того, в каких пространствах она рассматривается и каким методом решается [3–5].

Если нормы $f(x)$ и $K(x, s)$ ограничены в пространстве $C^{(1)}$, то первые два условия корректности выполнены. Вопрос устойчивости решения был исследован применительно к одному из наиболее применяемых и эффективных методов – методов квадратур.

В работе [1] было доказано, что метод квадратур, основанный на формулах левых, правых и средних прямоугольников, а также формуле трапеций, можно трактовать как регуляризирующий алгоритм, в котором роль параметра регуляризации играет шаг квадратурной формулы. При значении шага $h=h_{KO}$ обеспечивается устойчивость решения, т. е. $|\varepsilon_j| \cdot |\tilde{y}_j - y_j| \rightarrow 0, j = \overline{1, n}$, где $\{\tilde{y}_j\}$ – каркас приближенного решения уравнения (1). Данный регуляризирующий алгоритм был назван методом h -регуляризации Апарцина–Бакушинского.

Согласно [1], если с погрешностью задана правая часть интегрального уравнения, т. е. $\|\tilde{f}(x) - f(x)\| \leq \delta$, то при значении

$$h_{KO}(\delta) = \begin{cases} O(\delta^{2/5}) & \text{для формул левых и правых} \\ & \text{прямоугольников (1 случай),} \\ O(\delta^{2/7}) & \text{для формул средних прямоуголь-} \\ & \text{ников и трапеций (2 случай),} \end{cases}$$

$$\max_j \|\varepsilon_j\| \leq \begin{cases} O(\delta^{2/5}) & \text{в 1 случае,} \\ O(\delta^{2/7}) & \text{во 2 случае.} \end{cases}$$

Если с погрешностью задано ядро, т. е. $\|\tilde{K}(x, s) - K(x, s)\| \leq \zeta$, то указанные методы являются регуляризирующими при

$$h_{KO}(\zeta) = \begin{cases} O(\zeta^{1/3}) & \text{в 1 случае,} \\ O(\zeta^{1/4}) & \text{во 2 случае,} \end{cases}$$

$$\max_j \|\varepsilon_j\| \leq \begin{cases} O(\zeta^{1/3}) & \text{в 1 случае,} \\ O(\tau^{1/2}) & \text{во 2 случае.} \end{cases}$$

Объектами для определения коэффициента теплопроводности являются бунты проволоки, подвергающиеся термообработке с целью придания им соответствующих свойств. С математической точки зрения бунт проволоки можно рассматривать как систему из N слоев, в которых чередуются участки ферромагнитного материала и воздуха, т. е. как анизотропное тело. Система описывается $2N$ -мерным вектором $x = \{d_1, d_2, \dots, d_N, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N\}$, координатами ко-

торого являются толщины d_j и коэффициенты теплопроводности λ_j слоев. Число слоев N не является заданным, толщины d_j произвольны, общая толщина бунта $(R_{внеш} - R_{внут})$: $d = \sum_{j=1}^N d_j$.

Коэффициент теплопроводности может принимать значения λ_{max} , характеризующие либо металл заданной марки, либо λ_{min} , характеризующие воздух. Толщины слоев металла и воздуха являются случайными величинами, зависящими от большого количества случайных факторов. В этом случае согласно центральной предельной теореме функция распределения вероятностей таких величин будет подчиняться нормальному распределению. Экспериментальные исследования показали, что толщины слоев металла и промежутков воздуха подчиняются нормальному распределению.

Поставленная задача решалась методом квадратур. Для обеспечения устойчивости к нему был применен алгоритм h -регуляризации Апарцина–Бакушинского. Для программной реализации был выбран метод левых прямоугольников.

При решении задачи использовались значения функций $u(x_0, t)$ и $v(t)$, полученные экспериментальным путем (рис. 1).

Расчет реализован в системе MathCAD. Результаты вычислений представлены в виде графика (рис. 2) зависимости искомого значения коэффициента температуропроводности a от температуры t .

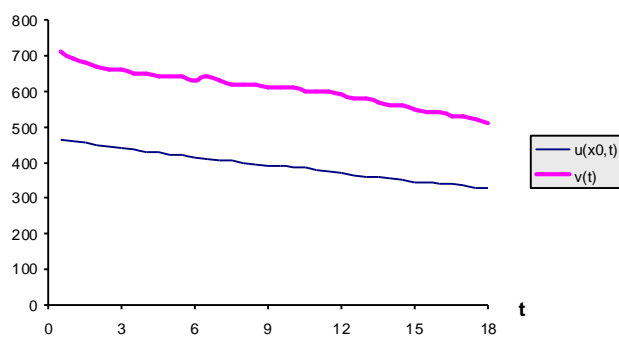


Рис. 1. Исходные данные

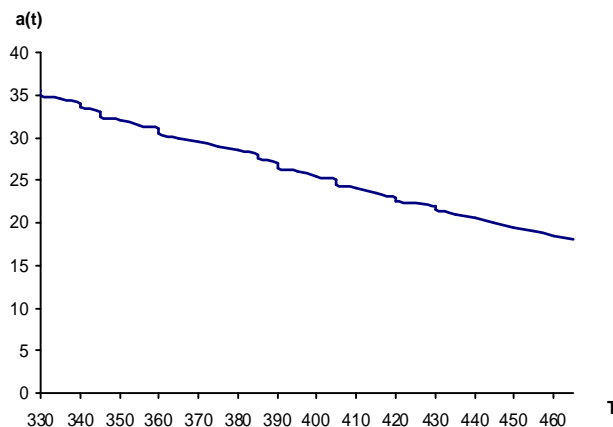


Рис. 2. Зависимость коэффициента a от температуры

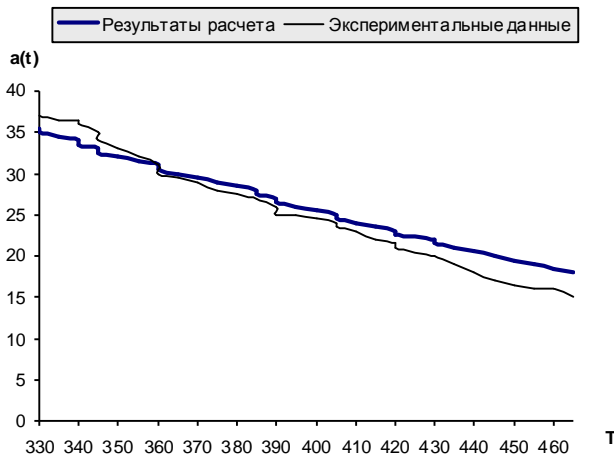


Рис. 3. Сравнение результатов расчета с экспериментальными данными

Для подтверждения правильности полученных результатов необходимо решить прямую задачу нахождения температурного поля при остывании бунтов проволоки с использованием полученных коэффициентов. Сравнение результатов расчета с экспериментальными данными позволит оценить правильность использованного способа нахождения коэффициентов. На рис. 3 приведены экспериментальные и расчетные данные.

Предложенная методика позволяет вычислять коэффициент температуропроводности бунтов проволоки, обладающих анизотропией, на основе решения обратной задачи теплопроводности.

Список литературы

1. Чудновский А.Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов. М.: GIFMG, 1962.
2. Жиров С.Г. О разбросе коэффициента теплопроводности композиционных материалов при известных разбросах свойств компонентов // ИФЖ. 1976. 31. № 2.
3. Апарцин А.С. О применении различных квадратурных формул для численного решения интегральных уравнений Вольтерры 1 рода методом квадратурных сумм // Дифференциальные и интегральные уравнения. 1973. Вып. 2. С. 107–116.
4. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1979.
5. Гончарский А.В., Леонов А.С., Ягола А.Г. Об одном регуляризирующем алгоритме для некорректно поставленных задач с приближенно заданным оператором // ЖВМ и МФ. 1972. 12. № 6.

List of literature

1. Chudnovsky A.F. Thermophysics of the characteristic of disperse materials. M.: GIFMG, 1962.
2. Jirov S.G. About disorder of factor of heat conductivity of composite materials at known disorders of properties of components // IFG. 1976. 31. № 2.
3. Aparzin A.C. About application various quadrature formulas for the numerical decision of integrated equations of Volterra of 1 sort a method quadrature the sums // The differential and integrated equations. 1973. Rel. 2. P. 107–116.
4. Tikhonov A.N., Arsenin V.Y. Methods of the decision incorrect problems. M.: Science, 1979.
5. Goncharsky A.V., Leonov A.S., Iagola A.G. About one regular algorithm for incorrect tasks in view with approximately set operator // GWM and MF. 1972. 12. № 6.

ПЕРЕРАБОТКА ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

УДК 622.3

Мишурина О.А.

ЭЛЕКТРОФЛОТАЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ МАРГАНЦА ИЗ ГИДРОТЕХНОГЕННЫХ РЕСУРСОВ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Техногенные сточные воды горнорудных предприятий Уральского региона характеризуются высоким содержанием тяжелых металлов, некоторые из которых относятся к числу редких и дорогостоящих, и селективное выделение их представляет собой самостоятельный интерес для дальнейшей переработки и вторичного использования. К числу таких металлов можно отнести и марганец, концентрация которого в кислых рудничных водах более 200 мг/дм³, что позволяет считать их техногенными источниками соединений марганца.

С целью рассмотрения возможности селективного извлечения марганца из техногенных вод ГОКов нами был исследован процесс извлечения его путем электрохимического осаждения ионов Mn^{2+} «активным хлором» в условиях бездиафрагменного электролизера и последующего концентрирования образующейся в процессе окисления дисперсной фазы марганца методом электрофлотации. Преимущества использования метода электрофлотации при извлечении гидрофильных металлосодержащих осадков связаны с физико-химическими особенностями образующейся дисперсной фазы (хрупкостью, способностью к передиспергированию при интенсивном перемешивании), с малым размером образующихся электролитических пузырьков, а также с наличием у них поверхностного электростатического заряда [1, 2].

Электрофлотация является сложным физико-химическим процессом, сущность которого заключается в образовании при пропускании электрического тока через гетерогенный раствор мелкодисперсных пузырьков газа, равномерно распределяемых в объеме обрабатываемой жидкости. Обладая большой подъемной силой, пузырьки газа, двигаясь вверх, сталкиваются с частицами дисперсной фазы, прилипают к ним и затем флоатируют их на поверхность раствора, образуя устойчивый пенный слой. Электрофлотационный процесс протекает тем успешнее, чем больше общая поверхность газовых пузырьков и чем больше площадь контакта их с флоатируемыми частицами. Суммарная поверхность более мелких пузырьков значительно больше, чем крупных, а расстояние между частицами и пузырьками меньше, что существенно повышает вероятность их столкновения с частицами дисперсной фазы и эффективность закрепления ее на поверхности пузырька. В электрофлотационном процессе участвуют два газа: H_2 и O_2 , однако основную роль в процессе электрофлотации выполняют пузырь-

ки водорода, выделяющиеся с поверхности катода, ввиду того, что их размеры значительно меньше размеров пузырьков кислорода [1–3].

Методики проведения эксперимента

Для проведения исследований использовалась электрофлотационная установка бездиафрагменного типа, представляющая собой емкость прямоугольной формы, внутренний объем которого разделен на две камеры:

– в первой камере аппарата – один электродный блок, расположен в нижней части камеры. Соотношение высоты электроблока к высоте рабочей зоны аппарата 1:2, расположение электродов монополярное. В первой камере протекает процесс электрохимического осаждения Mn (II) «активным хлором», с образованием дисперсной фазы;

– во второй камере аппарата – четыре электродных блока, расположены в нижней части камеры. Каждый электроблок состоит из пластины анода, на которой в виде спирали располагается катод. Соотношение высоты электроблока к высоте рабочей зоны электрофлотатора 1:4. Во второй камере флотатора осуществляли процесс электрофлотационного извлечения дисперсной фазы Mn из растворов.

Материал катода и анода в двух камерах одинаков: катоды – сталь толщиной 1 мм; аноды – листовой титан марки ВТ-1-0 толщиной 2 мм с покрытием оксида рутения толщиной 5 мкм. Электропитание каждой камеры флотатора осуществлялось автономно.

Учитывая особенности анионного состава кислых подотвальных вод горнорудных предприятий медноколчеданного комплекса, исследования проводились на растворах следующего состава, г/дм³: Mn^{2+} – 0,2; SO_4^{2-} – 5; CO_3^{2-} – 1; CH_3COO^- – 0,5. Электрообработку модельных растворов проводили при плотностях тока на электродах от 60 до 140 А/м² при температуре 20°С.

Результаты экспериментов

На первом этапе эксперимента было изучено влияние плотности тока и состава среды раствора на скорость всплытия пузырьков, газонасыщение, средний диаметр образующихся пузырьков.

Полученные результаты показали, что повышение плотности тока на электродах приводит к увеличению размеров образующихся пузырьков. При изменении $I_{с\kappa}$ в диапазоне 60–140 А/м² средний размер образующихся пузырьков газа возрастает от 20 до 70 мкм (в зависимости от состава раствора) (рис. 1).

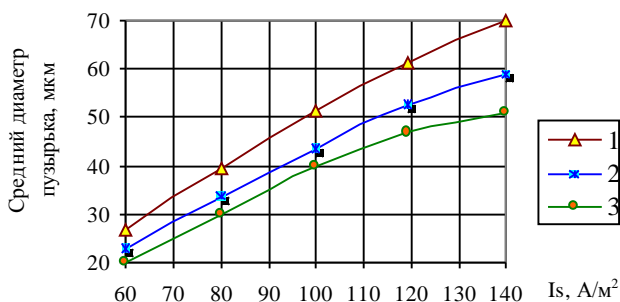


Рис. 1. Зависимость среднего размера пузырьков водорода от плотности тока (Is) в различных системах:
 1 – дистиллированная вода +1 г/дм³ солей: NaCl, Na₂SO₄, CH₃COONa, Na₂CO₃; 2 – раствор 1 + 0,05 г/дм³ дисперсной фазы марганца; 3 – раствор 1 + 0,1 г/дм³ дисперсной фазы марганца

Установлено, что наличие в растворе нерастворимых примесей (дисперсной фазы марганца) приводит к уменьшению среднего размера образующихся в процессе электрофлотации пузырьков газа. Отмечено, что с увеличением концентрации нерастворимых примесей в обрабатываемом растворе также наблюдается незначительное уменьшение среднего диаметра генерируемых на электродах пузырьков газа.

Скорость всплытия газовых пузырьков также зависит от наличия и от концентрации дисперсной фазы в растворе – при введении дисперсной фазы в обрабатываемые растворы скорость всплытия газовых пузырьков незначительно снижается.

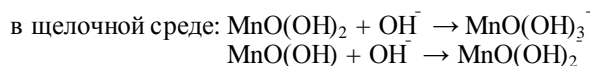
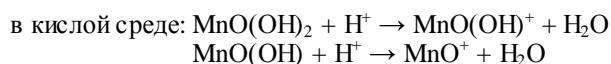
Установлено, что газонаполнение растворов возрастает с увеличением плотности тока на электродах, высоты электродов, вязкости электролита и уменьшением расстояния между электродами. Отмечено, что если процесс электрофлотации проводить при постоянной температуре (т.е. при постоянной вязкости растворов электролита), при определенных параметрах конструкции электрофлотатора, то газонаполнение жидкости пузырьками будет зависеть только от плотности тока, подаваемой на электроды.

Таким образом, на основании полученных результатов можно утверждать, что наличие взвешенных частиц марганца в растворе позволяет получать достаточно мелкодисперсные газовые пузырьки с большой поверхностью раздела фаз «газ–жидкость», которые всплывают с небольшой скоростью, что позволяет, при их столкновении с частицами твердой фазы, намного увеличить время их взаимного контакта, повышающее вероятность образования флотокомплекса, что в итоге улучшает эффективность процесса флотации.

В работе было изучено влияние фоновых электролитов водных растворов на состав формирующейся в процессе электрохимического осаждения дисперсной фазы марганца. Полученные результаты рентгено-фазного анализа показали, что основными фазами флотоконцентрата, извлекаемого в процессе электрофлотации, являются соединения типа MnO(OH)₂ и MnO(OH). Также отмечено, что помимо гидроокисных соединений Mn в зависимости от ионного состава среды растворов образуются и соедине-

ния Mn, содержащие компоненты фоновых анионов системы: Mn(OH)₂SO₄, Mn(OH)₂CO₃.

Нерастворимые формы Mn (III,IV) в растворах проявляют амфотерные свойства, т.е. в зависимости от изменения значений pH раствора образующиеся гидроксокомплексы MnO(OH)₂ и MnO(OH) будут диссоциировать по-разному, а именно: в кислой среде – по типу основания, в щелочной – по типу кислоты. Следовательно, заряд ξ-потенциала образуемых взвешенных частиц Mn также будет изменяться в зависимости от значений pH:



Проведенные исследования по определению величины ξ-потенциала частиц дисперсной фазы марганца (III,IV) при разных значениях pH системы показали, что в кислой среде значения ξ-потенциала взвешенных частиц положительны: от +18 до +11. С понижением кислотности и усилением основности растворов положительные заряды электрокинетических потенциалов уменьшаются, и при переходе pH системы от 8 до 9 заряд гидратной поверхности приобретает отрицательное значение: -1 (см. таблицу).

При изучении влияния pH системы на эффективность протекания электрофлотационного процесса было установлено, что с увеличением положительного заряда ξ-потенциала частиц дисперсной фазы марганца процесс электрофлотации протекает более интенсивно с максимальной степенью извлечения марганца и, наоборот, уменьшение положительного заряда приводит к замедлению процесса электрофлотации. Следовательно, при возрастании положительного заряда на поверхности взвешенных частиц степень сближения и закрепления отрицательно заряженных пузырьков водорода, выделяющихся с катодной поверхности, максимальна. С уменьшением заряда ξ-потенциала образующейся дисперсной фазы эффективность взаимодействия между взвешенной частицей и пузырьком газа значительно снижается, что указывает на электростатический механизм взаимодействия поверхности частиц марганецсодержащих осадков с пузырьками электролитных газов (отрицательно заряженного водорода).

Полученные кинетические зависимости показали, что процесс электрофлотации на фоне анионов Cl⁻ и SO₄²⁻ протекает довольно интенсивно, кинетические кривые выходят на горизонтальные участки после 6 мин флотации растворов; максимальная степень извлечения дисперсной фазы из раствора варьируется в пределах от 98,6 до 99,2% (в зависимости от концентрации анионов Cl⁻ и SO₄²⁻). Наличие в марганецсодержащей системе ацетат-ионов увеличивает эф-

Изменение величины ξ-потенциала дисперсной фазы марганца при различных значениях pH

pH раствора	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
Величина ξ-потенциала	+18	+14	+11	+3	-1	-12	-18

эффективное время флотации до 8 мин, при этом максимальная степень извлечения дисперсной фазы из раствора варьируется в пределах от 88,8 до 92,0%. При наличии ионов CO_3^{2-} оказывает максимально негативное воздействие на процесс электрофлотации: с увеличением исходной концентрации карбонат-ионов в обрабатываемом растворе (0,5–5,0 г/дм³) эффективное время флотации возрастает с 10 до 14 мин; а степень извлечения снижается с 90 до 68%.

При совместном присутствии хлорид-, сульфат-, карбонат- и ацетат-ионов наблюдается частичная нейтрализация негативного воздействия карбонатов на процесс электрофлотации – эффективное время флотации уменьшается с 14 до 10 мин, а степень извлечения марганца из растворов возрастает в диапазоне от 96 до 98% (рис. 2).

Эффективность электрофлотационного процесса, в ходе которого осуществляется электрохимическое генерирование флотирующих газов, зависит от величины, накладываемой на систему токовой нагрузки. Проведенные в работе экспериментальные исследования показали, что в растворах с исходной концентрацией марганца от 50 до 200 мг/дм³, содержащих ионы Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} и CH_3COO^- , в диапазоне I_s 80–100 А/м² после десяти минут проведения процесса электрофлотации наблюдается максимальная степень извлечения дисперсной фазы марганца из растворов – от 92,7 до 96,2% (в зависимости от исходного содержания марганца в системе (рис. 3).

Оптимальной плотности тока соответствует оптимальная высота слоя жидкости в аппарате (H_0). В случае электрофлотационного извлечения гидроокисных осадков Мп (III,IV) оптимальная рабочая высота слоя жидкости в аппарате составляет 0,45 м (соотношение электродного блока к высоте слоя обрабатываемого раствора 1:4).

Выводы

Проведенные исследования показали, что сочетание процесса электрохимического осаждения ионов Mn^{2+} «активным хлором» и процесса последующего электрофлотационного извлечения образующейся дисперсной фазы марганца позволяет эффективно и с высокими показателями α извлекать марганец из технических растворов. Процесс электрофлотации наиболее оптимально протекает при следующих параметрах процесса: рН – 5–7; времени обработки – 10 мин; плотности тока на катодах – от 80 до 100 А/м².

Список литературы

1. Домрачева В.А. Извлечение металлов из сточных вод и техногенных образований // ИГТУ. 2006. № 6. С. 5–34.
2. Электрохимическая технология очистки промышленных сточных

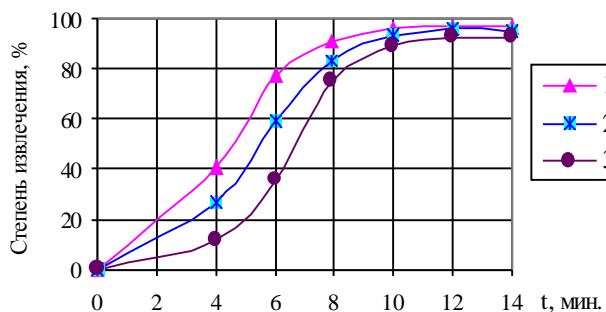


Рис. 2. Зависимости степени извлечения дисперсной фазы Мп от времени электрофлотации из растворов, содержащих ионы Cl^- , SO_4^{2-} , CH_3COO^- и CO_3^{2-} : 1 – 0,5 г/дм³; 2 – 1,0 г/дм³; 3 – 5,0 г/дм³

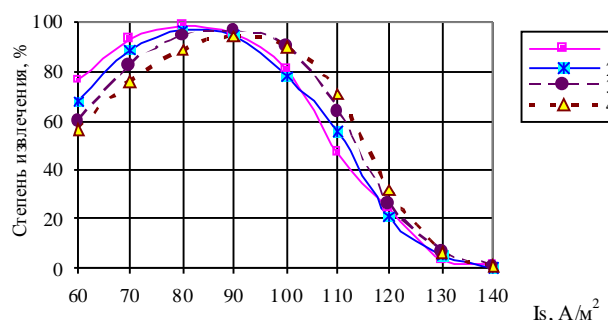


Рис. 3. Зависимости степени извлечения дисперсной фазы Мп от плотности тока на электродах из растворов, содержащих соли NaCl , Na_2SO_4 , CH_3COONa и Na_2CO_3 концентрацией 1,0 г/дм³: 1 – $C_{\text{исх}}\text{Mn}^{2+} = 50$ мг/дм³; 2 – $C_{\text{исх}}\text{Mn}^{2+} = 100$ мг/дм³; 3 – $C_{\text{исх}}\text{Mn}^{2+} = 150$ мг/дм³; 4 – $C_{\text{исх}}\text{Mn}^{2+} = 200$ мг/дм³

вод / Колесников В.А., Ильин В.И., Вараксин С.О., Капустин Ю.И., Матвеева Е.В. // Наука – производству. 2004. № 7. С. 7.

3. Яковлев С.В., Краснобородко И.Г., Рогов В.М. Технология электрохимической очистки воды. Л.: Стройиздат. Ленинград. отд-е, 1987. 312 с.
4. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии (Поверхностные явления и дисперсные системы): учебник для вузов. М.: Химия, 1982. 400 с.

List of literature

1. Domracheva V.A. Extraction of metals from the sewage and man-caused formation // IGTU. 2006. № 6. P. 5–34.
2. Electrochemical technology of refinement of the industrial sewage / Kolesnicov V.A., Ilijin V.I., Varaksin S.O., Kapustin U.I., Matveyeva E.V. // Science – production. 2004. № 7. P. 7.
3. Yakovlev S.V.; Krasnoborodko I.G., Rogov V.M. Technology of electrochemical water-refinement. L.: Sroyizdat. Leningrad department, 1987. 312 p.
4. Frolov U.G. Cours of colloidal chemistry (Surface occurrences and disperse systems). Text-book for Colleges. M.: Chemistry, 1982. 400 p.

ЭКОЛОГИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 574(с165)

Дзапаров В.Х.

УГРОЗА БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ РЕГИОНА РСО-АЛАНИЯ

Владикавказский плавильный завод в свое время был расположен на достаточном расстоянии от жилой зоны города и по тогдашним стандартам безопасности жителей Дзауджикау не причинял. В настоящее же время завод оказался практически в центре города, что породило сложные экологические проблемы.

Он выдал первую продукцию в 1902 г. и прошел долгий путь технологического развития в соответствии с темпами научно-технического прогресса своего времени.

Сегодняшний завод ООО «Электроцинк» представляет собой прогрессирующий источник катастрофического разрушения экосистем атмосферы, гидросферы, литосферы и биосферы Северного Кавказа и стран Каспийского бассейна. В черте города скопилось более 3 млн т отходов ОАО «Электроцинк» и АО «Победит», в которых содержится более 300 т ртути, 8 тыс. т мышьяка, 4 тыс. т селена, 25 тыс. т меди, столько же свинца и в два раза больше цинка.

Аварийные сверхнормативные выбросы увеличиваются в возрастающей прогрессии. Частично это происходит потому, что по существующему законодательству ответственность за загрязнение атмосферы несоизмеримо мала по сравнению с действительной величиной ущерба, наносимого экосистемам окружающей среды.

Сброс загрязненных сточных вод завода осуществляется через два выпуска в реки Собачья Балка и Камбилеевка. В течение года около 10000 тыс. м³ сточных вод сбрасывается в гидросферу без очистки, и лишь 1500 тыс. м³, или 15%, проходят очистку известковым молоком с очисткой в отстойниках.

При этом стоки не очищаются от хлоридов и фторидов, а сбрасываемая очищенная вода не удовлетворяет санитарным нормам, поэтому окрестности завода представляют собой зону экологического бедствия.

Не располагая совершенными технологиями и не обеспечивая эффективного управления последствиями имеющихся технологий, предприятие выполняет функции полигона для переработки тех отходов, которые считают опасными для себя другие регионы и страны. Из 40 стран завозится сырье, переработку которого у себя считают неприемлемой по соображениям безопасности жизнедеятельности.

На территории ОАО «Электроцинк» скапливаются и органические отходы, объем которых увеличивается ежегодно на 1,5 тыс. т. В РСО-Алания завозятся

для переработки десятки тысяч тонн аккумуляторного лома третьего класса опасности, содержащих свинец и органическую фракцию – полиэтилен, полипропилен и эбонит. При характерной для завода неуправляемости процессами переработки лома опасность этих отходов, содержащих 5–7% свинца, повышается до уровня 2 класса. Они представляют большую опасность, так как хранятся с нарушением требований, разлагаются и способны к самовозгоранию.

Аналогична ситуация с сурьмянисто-мышьяковистыми шлаками (2 класс опасности), образующимися при переработке содержащего свинец сырья. Таких отходов на территории ОАО «Электроцинк» накоплено более 60000 т.

Превышение естественного радиоактивного фона на отвальных полях заводов составляет: на старых отвалах в 2–2,5 раза и на новых отвалах вольфрамита в 5–8 раз. Эффективная активность естественных природных радионуклидов составила 750 и 1193 Бк/кг, что относит их ко 2 классу опасности.

Объем клинкера – около 3 млн т не уменьшается, а увеличивается, потому что пирометаллургические процессы применяют при переработке всего объема свинцовых концентратов и около 30% цинковых.

Принятое решение об использовании клинкера в цементном производстве экологически некорректно, потому что такой цемент загрязнен примесями тяжелых металлов, в том числе первого класса опасности и представляет опасность при употреблении. При этом Осетия несет убытки от потери не извлеченных из металлургических хвостов металлов.

В окрестностях ОАО «Электроцинк» контур «опасного» по содержанию тяжелых металлов загрязнения занимает площадь в 70 км² (III зона), «высоко опасного» – 15 км² (II зона), «очень высокого и чрезвычайно опасного» – 5 км² (I зона) и только в радиусе 10–12 км от города постепенно снижается до фонового уровня. Вокруг завода выделяется ореол площадью около 40 км², в пределах которого содержание металлов в почвах на порядок превышает средние концентрации.

На картах очистных сооружений ОАО «Электроцинк» накоплены тысячи тонн цинксодержащего шлама, полученного в результате очистки сточных вод известкованием. Шлам содержит, %: цинка 16,5, свинца 0,326, кадмия 0,495, никеля 0,216, мышьяка 0,127, кобальта 0,124, ртути 0,034, селена 0,004, таллия 0,002.

Постоянно генерируемые многокомпонентные отходы высоких классов токсичности создают прямую угрозу работающим на заводе, активизируя заболеваемость. Высказываются мнения, что деятельность завода сокращает срок жизни населения Осетии на 5–7 лет.

Опасность завода для региона РСО-Алания приобрела характер экологической катастрофы и стала предметом многочисленных мониторинговых исследований с аналогичными выводами о невозможности его функционирования в селитебной черте города*.

* Вагин В.С., Голик В.И. Проблемы использования природных ресурсов Южного Федерального Округа. Владикавказ: Проект-Пресс, 2005. 192 с.
Vagin V.S., Golik V.I. Problems of use of natural resources of Southern Federal District. Vladikavkaz: Проект-Пресс, 2005. 192 p.

РЕФЕРАТЫ

РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.271.333

Кузнецова Т.С., Мещеряков Ю.Б., Некерова Т.В. Предельная высота подработанного откоса подземными выработками при действии объемных сил.

Для комбинированной разработки большое экономическое значение имеет оптимальное соотношение геометрических параметров бортов карьера. В статье представлена формула для определения предельной высоты откоса подработанного борта карьера. Формула применима для откосов различного профиля, учитывает объемный фактор и действие тектонических напряжений.

Ил. 6. Табл. 1. Библиогр. 5 назв.

Ключевые слова: высота откоса борта, устойчивость, комбинированная разработка, тектонические напряжения, угол погашения, коэффициент запаса устойчивости, боковое трение, физико-механические свойства, объемное напряженное состояние, высота вертикального обнажения пород.

УДК 622.343:622.272

Мещеряков Э.Ю., Угрюмов А.Н. Геомеханическое обоснование области применения систем разработки с обрушением руд и пород при освоении месторождения «Чебачье».

Приведены результаты исследований геомеханического состояния массива при подземной выемке медноколчеданных руд месторождения «Чебачье», залегающих под охраняемой территорией, вблизи озера Чебачье. Обоснована область применения систем разработки с обрушением руд и пород, позволяющая снизить капитальные и эксплуатационные затраты на этапе ввода рудника в эксплуатацию, обеспечить сохранность подрабатываемой территории и безопасность горных работ.

Ил. 2. Табл. 1.

Ключевые слова: система разработки, геомеханическое состояние массива, безопасность.

УДК 622.647.003

Гибадуллин З. Р., Волков П. В. Методика оценки вариантов перемещения руды при отработке приконтурных запасов.

Перемещение руды на руднике рассматривается как технологическая система - последовательность соединения элементов, их состав и структура взаимосвязи. Экономическую эффективность вариантов технологических схем перемещения руды рекомендуется оценивать по сумме эксплуатационных затрат элементов системы.

Библиогр. 6 назв.

Ключевые слова: добыча руды, система перемещения, экономическая эффективность.

УДК 622.731

Гмызина Н.В. Интенсификация процесса измельчения конвертерных шлаков.

Предложена предварительная обработка конвертерного шлака раствором жидкого стекла, которая наряду с более полным раскрытием сростков при измельчении обеспечивает повышение технологических показателей.

Табл. 4. Библиогр. 4 назв.

Ключевые слова: шлаки, магнитная фракция, магнитная сепарация, массовая доля железа, жидкое стекло, измельчение.

УДК 669.131.2.018.258.5

Колокольцев В.М., Столяров А.М., Молочков П.А., Потапов М.Г., Мулявко М.Н., Цыбров С.В. Взаимосвязь химического состава, механических свойств и износостойкости среднехромистых чугунов для сортопрокатных валков.

Рассмотрено влияние легирующих элементов на твердость, износостойкость и прочность среднехромистых чугунов. Определено среднее содержание элементов, которое позволяет получить высокие эксплуатационные свойства среднехромистых чугунов, используемых для изготовления сортопрокатных валков.

Ил. 17. Библиогр. 2 назв.

Ключевые слова: валки, средний хром, износостойкость, твердость, прочность.

УДК 621.745.35

Ячиков И.М., Портнова И.В., Харченко О.А. Характер электровихревого течения металла в ванне ДПТ при изменении положения катода.

Проанализированы результаты экспериментального исследования характера электровихревого течения при различном положении катода с двумя подовыми электродами. Определена схема течения расплава на свободной поверхности ванны и в меридиональной плоскости, проходящей через ось ванны и ось подового электрода. Установлено, что характер электровихревого течения зависит от места установки катода и количества подовых электродов.

Ил. 2. Библиогр. 3 назв.

Ключевые слова: дуговая печь, энергосберегающие технологии, электровихревое течение металла.

УДК 621.74.047:621.777.07

Горохов Ю.В., Солопко И.В., Константинов И.Л. Основы проектирования конструктивных параметров установки непрерывного литья-прессования металлов.

В работе приведена методика расчета размеров контейнера для установки непрерывного литья-прессования цветных металлов. Расчетные данные использованы для составления рабочих чертежей, по которым изготовлена лабораторная установка непрерывного литья-прессования металлов.

Ил. 3. Библиогр. 3 назв.

Ключевые слова: непрерывное литье-прессование, лабораторная установка, совмещенные процессы, конформ, калибр, кристаллизация, металл.

УДК 662.785:669.162.262.3

Сибгатуллин С.К., Майорова Т.В., Чевычелов А.В., Гостенин В.А., Сенькин К.В. Сравнение свойств стабилизированного агломерата ОАО «ММК» и окатышей ССГПО.

Представлены результаты сравнительного анализа гранулометрического состава и прочностных характеристик стабилизированного агломерата и окатышей при нагреве без кокса и с различной долей кокса.

Табл. 5.

Ключевые слова: сабилизированный агломерат, окатыши, гранулометрический состав, прочностные характеристики, крупность, однородность, сопротивление удару, рудная нагрузка.

УДК 681.51

Кирич Ю.П., Затонский А.В., Беккер В.Ф. Построение моделей динамики сложных технологических объектов в позиционных системах управления.

В статье излагается методология построения моделей динамики сложных технологических объектов по автоколебательным режимам позиционных систем управления. В качестве сложных технологических объектов рассматриваются процессы производства губчатого титана.

Ил. 1. Библиогр. 15 назв.

Ключевые слова: титан, производство, управление, динамика.

УДК 668.018

Чуманов И.В., Трофимов Е.А., Чуманов В.И. Изучение физико-химических аспектов поведения искусственно введенных дисперсных частиц карбида титана в объеме жидкой металлической матрицы при больших скоростях кристаллизации.

В работе проанализированы термодинамические и кинетические аспекты взаимодействия дисперсных частиц карбида титана с металлическим расплавом в ходе создания металломатричных композиционных материалов методом непрерывной вытяжки слитка в направлении, обратном гравитационным силам.

Табл. 4. Библиогр. 5 назв.

Ключевые слова: дисперсные частицы, карбид титана, металлический расплав, распределение частиц в слитке.

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.774

Козлов А.В., Шеркунов В.Г. Влияние холодной гибки с раскатыванием на толщину стенок изгибаемой трубы.

Выполнено компьютерное моделирование процесса гибки с раскатыванием, получены количественные значения толщин стенок в продольном и поперечном сечениях изгибаемой трубы. Приведены результаты сравне-

ния расчетных значений с данными, полученными в ходе экспериментальных исследований, подтвердившие адекватность компьютерной модели.

Ил. 9. Библиогр. 3 назв.

Ключевые слова: холодная гибка, изгибаемая труба, раскатывание, компьютерное моделирование.

УДК 621.777: 621.777:22

Беляев С.В. Статика и геометрия очага деформации при совмещенной прокатке-прессовании с одним приводным валком.

Представлена методика расчета параметров очага деформации для процесса совмещенной прокатки-прессования с учетом асимметрии и реологии деформируемого металла. Проведен теоретический анализ полученной математической модели.

Ключевые слова: прокатка-прессование, деформация металла, математическая модель.

ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ

УДК 669.017.3:621.791.75

Кусков В.Н., Зябкин О.В., Крылов А.П., Потапов Д.А. Термическое влияние параметров импульсной сварки методом STT на структуру соединения.

Рассмотрено влияние базового и пикового токов, скорости сварки, параметра «Tailout» на тепловыделение при импульсной полуавтоматической сварке методом STT. Приведено сравнение с тепловыделением при ручной электродуговой сварке. Установлено, что основное влияние на изменение структуры наплавленного и основного металла оказывают скорость сварки и сила базового тока.

Ил. 4. Табл. 1.

Ключевые слова: импульсная сварка, метод STT, сварочный ток, тепловыделение.

УДК 621.777:669.231.7

Рудницкий Э.А., Довженко Н.Н., Ходюков Б.П. Исследование свойств новых палладиевых сплавов и совершенствования технологии их обработки.

В статье обоснована актуальность использования палладия как альтернативного материала «белому золоту» и платине в ювелирной промышленности. Сформулированы основные критерии для разработки новых сплавов. Представлены закономерности изменения механических свойств и структуры литых и деформированных полуфабрикатов в зависимости от химического состава и термомеханических режимов обработки. Даны рекомендации по усовершенствованию основных режимов обработки давлением разработанных сплавов.

Ил. 7. Табл. 1. Библиогр. 3 назв.

Ключевые слова: палладий, сплавы, модифицирование, структура, механические свойства,ковка, сортовая прокатка, волочение, аргоно-дуговая сварка.

НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.7.011:621.789

Ефимова Ю.Ю., Кошцева Н.В., Никитенко О.А. Исследование состояния карбидной фазы после наноструктурирования и последующего волочения низкоуглеродистой стали.

Проведено исследование и выявлена разница в поведении стали 20 с различной морфологией цементитных частиц при РКУП и последующем волочении.

Ил. 6. Библиогр. 10 назв.

Ключевые слова: равноканальное угловое прессование, карбидная фаза, наноструктура, ферритно-перлитная сталь, волочение.

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

УДК 658.652; 621.79

Мезин И.Ю., Яковлева Е.С. Оценка результативности метрологического обеспечения производства автокомпонентов.

В статье представлена модель комплексной оценки результативности метрологического обеспечения производства. Предложенная модель обеспечивает адекватную оценку метрологического обеспечения производства за установленный промежуток времени.

Ил. 2. Табл. 1. Библиогр. 3 назв.

Ключевые слова: метрологическое обеспечение, результативность, комплексная оценка, автокомпоненты.

УДК 621.77

Голубчик Э.М., Щуров Г.В. Формирование качественных показателей при производстве профилей высокой жесткости.

Предложена модель технологической системы производства профилей высокой жесткости. Проведен анализ технологических факторов, влияющих на точность геометрических параметров и качество ПВЖ, производимых в ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Представлен опыт работы новых летучих ножей фирмы «FIMI» при производстве ПВЖ на профилегибочном стане «1–5×300–1650».

Ил. 3. Библиогр. 4 назв.

Ключевые слова: гнутый профиль, профиль высокой жесткости, качество, профилегибочный стан, геометрические параметры, точность мерного реза, летучие ножницы.

УДК 338.51

Баскакова Н.Т. Подсистема СМК планирования ремонтов.

В статье представлены результаты научно-исследовательской работы по организации мониторинга состояния основного технологического оборудования. Приведены состав и характеристика нормативно-справочной информации, текущей информационной базы, отражающей реальное состояние агрегатов. Освещены вопросы организации мониторинга физического состояния оборудования и поддержания информационной базы в актуальном состоянии. Реализация предложенных методических инструментов позволит решить поставленные задачи и оптимизировать затраты на техническое обслуживание и ремонт основного технологического оборудования.

Ил. 1. Табл. 1. Библиогр. 4 назв.

Ключевые слова: система менеджмента качества, ремонт, планирование, мониторинг.

НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

УДК [621.771.06-11:621.822]-192

Дудоров Е.А., Жиркин Ю.В., Паршин П.Р. Повышение герметизации подшипниковых узлов рабочих валков клетки «КВАРТО».

Предложен способ герметизации и обеспечения благоприятных условий эксплуатации подшипниковых узлов рабочих валков клеток «КВАРТО» с помощью применения встраиваемых делителей масловоздушного потока при использовании системы смазывания «масло–воздух».

Ил. 7. Библиогр. 5 назв.

Ключевые слова: подшипниковые узлы, герметизация, клетка «КВАРТО», системы смазывания.

УДК 621.771

Кадошников В.И., Куликов С.В., Куликова Е.В., Кадошникова И.Д., Аксёнова М.В. Анализ современных методов технического обслуживания металлургического оборудования.

Рассмотрена проблема составления регламента обслуживания сложных многодвигательных металлургических производственных систем. Поставлены вопросы о необходимости сбора, анализа и четкой документальной фиксации статистических данных, основанных на предыдущем опыте работы производственной системы. Теоретически обоснована необходимость проведения диагностики оборудования металлургических машин, как способа повышения эффективности обслуживания по регламенту. Указаны сложности полного перехода на обслуживание по диагностическим признакам.

Ил. 4. Табл. 1. Библиогр. 8 назв.

Ключевые слова: обслуживание оборудования, статистические данные, диагностика оборудования, металлургические машины.

ЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

УДК 669.18 + 621.313.8

Петрищев С.А., Сергеев Ю.С. Расчет массоэнергетических характеристик дискового вентильного двигателя.

В статье раскрыты некоторые аспекты проектирования дисковых вентильных двигателей. Также представлен алгоритм расчета таких двигателей.

Ил. 1. Библиогр. 4 назв.

Ключевые слова: электромеханические приводы для металлургического оборудования, массоэнергетические характеристики, вентильные двигатели

УДК 662.612.31

Задонская Т.А., Швецова Е.С., Коцев В.В. Горение высокоскоростных потоков природного газа.

В статье описано горение высокоскоростных потоков природного газа.

Ил. 2. Библиогр. 5 назв.

Ключевые слова: природный газ, горение, высокоскоростные потоки.

УДК 621.78.5:669.15

Баранкова И.И., Коринченко Г.М. Определение теплофизических параметров анизотропных тел на основе решения обратных задач.

В работе предложен численный метод нахождения коэффициента температуропроводности бунта проволоки. При решении использован регуляризирующий алгоритм Апарцина-Бакушинского.

Ил. 3. Библиогр. 5 назв.

Ключевые слова: эффективная теплопроводность, обратные задачи, регуляризирующий алгоритм.

ПЕРЕРАБОТКА ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

УДК 622.3

Мишурина О.А. Электрофлотационное извлечение марганца из гидротехногенных ресурсов горных предприятий.

Статья посвящена актуальному вопросу разработки ресурсосберегающей технологии переработки марганецсодержащих гидроминеральных ресурсов. Приведены результаты исследований электрофлотационного извлечения дисперсной фазы марганца (IV) из технических растворов.

Проанализировано влияние основных параметров электрофлотационного процесса на эффективность извлечения марганца из технических растворов, а именно: плотности тока на электродах, времени проведения процесса, pH среды, ионного состава растворов, величины и знака заряда ξ -потенциала дисперсной фазы Mn (IV).

Ил. 3. Табл. 1. Библиогр. 4 назв.

Ключевые слова: гидротехногенные ресурсы, марганец, электрофлотационное извлечение, горные предприятия.

ЭКОЛОГИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 574(с165)

Дзапаров В.Х. Угроза безопасности жизнедеятельности региона РСО – Алания.

В статье рассмотрены экологические проблемы крупнейших металлургических предприятий РСО–А.

Библиогр. 1 назв.

Ключевое слово: экология Северной Осетии.

REPORTS

EXPLOITATION OF MINERAL RESOURCES

UDC 622.271.333

Kuznetsova T.S., Mesheryakov YU.B., Neckerova T.V. The Limit height of flank of an opencast, which work up underground headings at action of three-dementional powers.

Optimal correlation geometric parameteries of flank of an opencast has big economic importance for combined method of mining. In article before-is put formula for determination of the limiting height of flank of an opencast, which work up underground headings. The formula applicable for escarpment of the different profile, takes into account the three-dementional factor and action of tectonic strains.

Fig. 6. Table 1. Bibliogr. 5 items.

Key words: height of flank of an opencast, stability, combined method of mining, tectonic strains, corner of the redemption, stability factor, lateral friction, physico-mechanical characteristics, three-dementional tense with-standing, height of the vertical denuding the rocks.

UDC 622.343:622.272

Mecsherykov E.Y., Ugryumov A. N. Geomechanical substantiation of a scope of systems of working out with a collapse of ores and breeds at development of deposits.

Results of researches of a geomechanical condition of a file are resulted at underground dredging copper-pirite ores of a deposit of «Chebache». The scope of systems of working out with a collapse of ores and the breeds is proved, allowing to lower capital and operational expenses at a stage of input of mine in operation, to provide safety of earned additionally territory and safety of mountain works.

Fig. 2. Table 1.

Key words: exploitation system, geomechanical condition, safety.

UDC 622.647.003

Gibadyllin Z. R., Volkov P. V. Technique of the estimation of variants of moving of ore at working off at the planimetric stocks.

Ore moving on mine is considered as technological system – sequence of connection of elements, their structure and interrelation structure. Economic efficiency of variants of technological schemes of moving of ore is recommended to estimate on the sum of operational expenses of elements of system.

Bibliogr. 6 names.

Key words: ore extraction, moving system, economic efficiency.

UDC 622.731

Gmyzina N.V. Improvement of the grinding converter`s slag.

The offered preprocessing of the converter`s slag by reagent such as sodium silicate before the grinding. This treatment provides full opening the mineral`s particles and increasing of the quality.

Tabl. 4. Bibliogr. 4 names.

Key words: slag, magnetic particles, magnetic separation, content of iron, sodium silicate, grinding.

METALLURGY OF FERROUS, NON-FERROUS AND RARE METALS

UDC 669.131.2.018.258.5

Kolokoltsev V.M., Stolyarov A.M., Molochkov P.A., Muljavko M.N., Tsybrov S.V. Interrelation of chemical compound mechanical properties and middle chromic cast iron is wear resistance for bar mill rollers.

The article considers the impact of the alloying elements on hardness, wear resistance and durability of medium-chrome cast iron. The abstract also reckons average content of elements which increase operating ability of medium-chrome cast iron used for production of section rollers.

Fig. 17. Bibliogr. 2 names.

Key words: rolls, middle chromic, wear resistance, hardness, durability.

UDC 621.745.35

Jachicov I.M., Portnova I.V., Harchenko O.A. Character electroturbulence of current of metal in a bath at DC arc furnace at change of a situation of the cathode.

The results of an experimental research of character of electroturbulence mowing are analyzed at a various situation of the cathode with two ground electrodes. The circuit of current metal on a free surface of a bath and in a meridian of a plane is determined which passes through an axis of a bath and axis of a ground electrode. Is established, that the character of electroturbulence mowing depends on an installation site of the cathode and quantity of ground electrodes.

Fig. 2. Bibliogr. 3 names.

Key words: arc furnace, low-power technology, vortex electrical metal flow.

UDC 621.74.047:621.77.07

Gorohov Yu.V., Solopko I.V., Konstantinov I.L. The foundations of form factor designing for a continuous transfer molding device.

The research considers the calculation technique of the container dimensions, intended for continuous transfer molding of non-ferrous metals. The calculation data were used for working drawings, according to which the laboratory device for continuous transfer molding has been made.

Fig. 3. Bibliogr. 3 names.

Key words: continuous transfer molding, laboratory device, concurrent processes, conform, gauge, crystallization, metal.

UDK 662.785:669.162.262.3

Sibagatullin S., Majorova T., Chevychelov A., Gostenin B., Senkin K. Compare of properties of the stabilised agglomerate of Open Society «MMK» and rolled briquette.

Results of the comparative analysis structure and strength of the stabilised agglomerate and rolled briquette at heating without coke and with a various share of coke are presented.

Table 5.

Keywords: stabilised agglomerate, rolled briquette, structure, strength, the size uniformity, resistance to blow, ore loading.

UDC 681.51

Kirin U.P., Zatonsky A.V., Bekker V.F. The dynamic model of complex technology objects building to the position control system.

The methodology of dynamic complex technology objects models construction using auto oscillation regimes in a positional control systems. The sponge titanium production process is used as example of a complex technology object.

Fig. 1. Bibliogr. 7 names.

Key words: titanium, production, control, dynamics.

UDC 668.018

Chumanov I.V., Trofimov E.A., Chumanov V.I. Study of physical-chemical aspects of behaviour of artificially introduced disperse particles of titanium carbide in the volume of liquid metal matrix at high speed of crystallization.

The articles analyzes the thermodynamic and kinetic aspects of interaction between disperse particles of titanium carbide and metal melt in the process of formation of metal-matrix composite materials with the method of continuous draw of an ingot in the direction opposite to the gravity forces.

Tabl. 4. Bibliogr. 5 names.

Key words: disperse particles, titanium carbide, metal melt, distribution of particles in ingot.

TECHNOLOGIES OF METAL FORMING

UDC 621.774

Kozlov A. V., Sherkunov V. G. The effect of cold bending by expanding on the wall thickness of a tube curved.

The paper is devoted to simulating the process of the bending by expanding. The values of wall thickness in cross- and longi-tudinel sections in tubes curvet have been computed. Comparing the values estimated with the date resulted from the experimental researh has proved the validity of the model suggested.

Fig. 9. Bibliogr. 3 names.

Key words: cold bending, bending tube, rolling, computer modeling.

UDC 621.777: 621.777:22

Belyaev S.V. The Statics and Geometry of Asymmetrical Deformation Zone during Combined Rolling and Pressing with a single drive roll.

The method of calculation of deformation zone characteristics for the process of combined rolling and pressing taking into account the asymmetry and rheology of the processed metal was introduced. The theoretical analysis of the calculated mathematical model was carried out.

Key words: rolling and pressing, deformation of metal, mathematical model

METAL WORKING TECHNOLOGIES

UDC 669.017.3:621.791.75

Kuskov V.N., Zybkin O.V., Krylov A.P., Potapov D.A. Thermal influence of STT impulse welding on the structure of the joint.

Influence of base and peak current, speed of welding, "Tailout" characteristic on heat emission during STT impulse semi-automatic welding were considered. Its heat emission was compared with heat emission during manual electric arc welding. It was found out that speed of welding and base current were the main factors that defined the structure of weld and base metals.

Fig. 4. Table 1.

Key words: impulse welding, STT method, welding current, heat emission

UDC 621. 777:669.231.7

Rudnitskij E.A., Dovzhenko N.N., Hodjukov B.P. The study of new palladium alloys properties and technological development of their processing.

The article proves the importance of using palladium as a substitute of "white gold" and platinum in jewelry industry. It defines the basic criteria for the development of new alloys. The mechanism of changing mechanical properties and structure of cast and deformed semi-products depending on their composition and thermo-mechanical mode of treatment was introduced. Some recommendations concerning the improvement of basic conditions of forming the new alloys were given.

Fig. 7. Table 1. Bibliogr. 3.

Key words: palladium, alloys, modification, structure, mechanical characteristics, forging, flat-and-edge rolling, wire drawing, argon arc welding.

NANOMATERIALS AND NANOTECHNOLOGIES

UDC 621.7.011:621.789

Yefimova J.J., Koptseva N.V., Nikitenko O.A. Research of carbide phase after nanostructuring process and the subsequent drawing of low-carbon steel.

The research was carried out and the difference in behaviour of cementite particles with various morphology of steel 20 after ECAP process and the subsequent drawing was found.

Fig. 6. Bibliogr. 10 names

Key words: equal-channel angular pressing, carbide phase, nanostructure, ferrite-perlite steel, drawing.

STANDARDIZATION, CERTIFICATION AND QUALITY CONTROL

UDC 658. 652; 621. 79

Mezin I.Yu., Yakovleva E.S. Metrological assurance efficiency estimation of automotive components production.

The article presents a model of the complex efficiency estimation of metrological assurance of production. The offered model provides adequate efficiency estimation of metrological assurance of production for the fixed time period.

Fig. 2. Table 1. Bibliogr. 3 names.

Key words: metrological assurance, efficiency, complex estimation, automotive components.

UDC 621.77

Golubchik E.M., Churov G.V. Formation of quality indicators with the production of the roll-formed section of high stiffening sections.

The model of the technological system of the production of roll-formed section of high stiffening is proposed. The analysis of the technological factors, which influence the accuracy of geometric parameters and quality of roll-formed section of high stiffening, produced at joint stock company the «Magnitogorsk Metallurgical Combine» is carried out. The work experience of new flying shears of company «FIMI» with the production of roll-formed section of high stiffening on the contour-shaping camp «1–5×300–1650» is represented.

Fig. 3. Bibliog. 4 names.

Key words: roll-formed of section, roll-formed of section of high stiffening (rigidity), quality, contour-shaping camp, geometric parameters, the accuracy of measured cut, the flying shears.

UDC 338.51

Baskakova N.T. SMK Subsystem of repair planning.

The results of scientific research work in monitoring of technological state of the base equipment, reflecting the modern situation of the units are presented in the article. The problems of monitoring of equipment physical state data base in state of the art situation are highlighted. Realization of the suggested methods will allow to solve the given tasks and optimize the expenses for maintenance work and repair of technological equipment.

Key words: management system of quality, repair, planning, monitoring.

WEAR-RESISTANCE AND RELIABILITY OF METALLURGICAL EQUIPMENT

UDC [621.771.06-11:621.822]-192

Dudorov E.A., Zhirkin YU.V., Parshin P.R. The way to enhance the pressurization of the bearing units of a four-high mill stand work rolls.

The research covers the way to pressurize bearing units of a four-high mill stand work rolls and to provide favorable operating conditions for the equipment by applying the built-in oil-air flow distributors in the oil-air lubrication system.

Key words: bearing units, pressurization, stand, kvarto, lubrication system.

UDC 621.771

Kadoshnikov V.I., Kulikov S.V., Kulikova E.V., Kadoshnikova I.D., Aksenova M.V. The analysis of modern methods of maintenance service of the metallurgical equipment.

The problem of maintenance service in complex multiimpellent, metallurgical, industrial systems is considered. Necessity of gathering, analysis and precise documentary fixing of the static data founded on the previous operational experience of industrial system are put forward. The necessity of carrying out the diagnostics of the equipment of metallurgical machines theoretically proved as a way of increasing the efficiency of service according to diagnostic parameters. Complexities of full transition to service to diagnostic attributes are specified.

Fig. 4. Table 1. Bibliogr. 8 names.

Key words: maintenance works, statistic data, diagnostics equipment.

POWER SUPPLY AND HEAT POWER OF METALLURGY

UDC 669.18 + 621.313.8

Petrishev S.A., Sergeev Y.S. Calculation of masso-power characteristics of the disk gated engine.

In the article some aspects of designing of disk gate engines are covered. The algorithm of the calculation of the engines of the given type is presented.

Fig. 1. Bibliogr. 4 names.

Key words: electromechanical drives for metallurgical equipment, massopower characteristics, switch engines.

UDC 662.612.31

Zadonskaya T.A., Shvetzova E.S., Koptstev V.V. Highspeed burning of natural gas torrents.

The model of high-speed burning of natural gas torrents is represented in article.

Fig. 2. Bibliogr. 5 names.

Key words: natural gas, burning, high-speed torrents.

UDC 621.78.5: 669.15

Barankova I.I., Korinchenko G.M. Definition thermophysics parameters of anisotropic bodies on the basis of the decision of return problems.

In work the numerical method of a finding of factor heat conductivity revolt of a wire is offered. At the decision it is used algorithm of Aparzin-Bakushinsky.

Fig. 3. Bibliogr. 5 names.

Key words: effective heat conductivity, return problems, regular algorithm.

RECYCLING OF TECHNOGENIC SOLUTIONS

UDC 622.3

Mishurina O.A. Electroflotation extraction of manganese from the hydro-technological resources of the mining works.

The article is devoted to an urgent problem of the working out of saving resources technology of manganese containing hydro-mineral resources processing. Here are given the results of investigations of electroflotation extraction of manganese dispersed phase from the technical mortars.

In this article we have analyzed the influence of main parameters of electroflotation process to the efficiency extraction of manganese from the technical mortars, that is current density on the electrodes, the spending time of pH – medium process, ionic composition of mortars, size and sign of ξ -potential charge of manganese dispersed phase.

Fig. 3. Table 1. Bibliogr. 4 names

Key words: hydro-technological resources, mananese, electroflotation extraction, mining works.

ENVIRONMENTAL ECOLOGY

UDC 574(s165)

Dzaparov V.Kh. Life threat of RSO-Alaniya reion.

The article reviews ecological problems of great metallurgical works of RSO-A region.

Bibliogr. 1 name.

Key words: ecology of North Ossetia.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Аксенова Мария Владимировна – аспирантка кафедры технологий сертификации и сервиса автомобилей ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8 (3519) 29-84-31.

Баранкова Инна Ильинична – кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой информатики и информационных технологий ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8-3519-051-141. E-mail: INNA_BARANKOVA@mail.ru.

Баскакова Надежда Тимофеевна – старший преподаватель кафедры экономики и управления ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519)29-84-43.

Беляев Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Обработка металлов давлением» Института цветных металлов и материаловедения ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Тел.: 8 (3912) 29-66-05; 8 (3912) 24-48-12; 8-902-929-60-60. E-mail: 244812@mail.ru.

Волков Павел Владимирович – аспирант кафедры подземной разработки месторождений полезных ископаемых ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8 (3519) 29-84-66.

Гибадуллин Закария Равгатович – аспирант кафедры подземной разработки месторождений полезных ископаемых ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», директор Сибайского филиала ОАО «Учалинский ГОК».

Гмьзина Наталья Викторовна – старший преподаватель кафедры обогащения полезных ископаемых ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: (3519) 29-85-55.

Голубчик Эдуард Михайлович – ведущий инженер-технолог Центральной лаборатории контроля ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», доцент, кандидат технических наук. Тел. 8 (3519) 25-17-31. E-mail: gem@mmk.ru.

Горохов Юрий Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры обработки металлов давлением Института цветных металлов и материаловедения ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Тел.: 8 (391) 213-35-50, 89232846674.

Гостенин Владимир Александрович – кандидат технических наук, начальник аглодоменного отдела ЦЛК ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Тел. 8(3519)24-38-61.

Дзапаров Вячеслав Хаматканович – кандидат технических наук, доцент кафедры БЖД Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета).

Довженко Николай Николаевич – доктор технических наук, проректор по инновационной деятельности и развитию материально-технической базы научных исследований ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», профессор кафедры ОМД Института цветных металлов и материаловедения. Тел. (391) 244-89-04.

Дудоров Евгений Александрович – главный конструктор ЗАО «Металлпромсервис» (ЗАО «МПС»), аспирант заочной формы обучения ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519) 35-19-31, 22-21-02. Факс 8(3519) 35-97-33. E-mail: dea-konstruktor@mail.ru.

Ефимова Юлия Юрьевна – инженер кафедры машиностроительных и металлургических технологий ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519)29-85-12.

Жиркин Юрий Васильевич – кандидат технических наук, профессор кафедры механического оборудования металлургических заводов ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519) 29-85-07, 20-59-39. Факс 8(3519) 29-84-92. E-mail: Girkin@yandex.ru.

Задонская Татьяна Анатольевна – студентка гр. ЭФ-03 ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. +79026085836.

Затонский Андрей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации технологических процессов Березниковского филиала ГОУ ВПО «Пермский государственный технический университет». Тел. 8 (3424) 26-90-90.

Зябкин Олег Вячеславович – ассистент ТюмГНГУ. Тел.: 41-70-25; 89058202089. E-mail: rsr666@yandex.ru.

Кадошников Владимир Иванович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Прикладная механика и графика» ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519)29-84-75. E-mail: kvi-51@mail.ru.

Кадошникова Ирина Дмитриевна – доцент кафедры «Прикладная механика и графика» ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8 (3519) 20-76-30.

Кирич Юрий Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации технологических процессов Березниковского филиала ГОУ ВПО «Пермский государственный технический университет». Тел. 8 (3424) 26-90-90.

Козлов Александр Васильевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология машиностроения, станки и инструмент» ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет». Тел. 8 (3513) 63-43-78. E-mail: kozlov@zb-susu.ru.

Колокольцев Валерий Михайлович – доктор технических наук, профессор, ректор ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8 (3519) 22-44-46. E-mail: kwm@magtu.ru

Константинов Игорь Лазаревич – кандидат технических наук, доцент кафедры обработки металлов давлением Института цветных металлов и материаловедения ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Тел.: 8 (391) 213-35-50, 89135747242. E-mail: ILCon@mail.ru.

Копцев Валерий Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехнических и энергетических систем ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8 (3519) 22-34-78. E-mail: Koptsev2002@mail.ru.

Копцева Наталья Васильевна – кандидат технических наук, и.о. профессора кафедры материаловедения и термической обработки металлов ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8 (3519) 29-85-67. E-mail: koptsev2002@mail.ru.

Коринченко Гульнара Марсовна – старший преподаватель кафедры информатики и информационных технологий ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8-902-899-0-999.

Крылов Алексей Петрович – кандидат технических наук, доцент ТюмГНГУ. Тел.: 41-70-25; 89129278688.

Кузнецова Татьяна Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры открытой разработки месторождений полезных ископаемых ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8 (3519) 29-85-56.

Куликов Сергей Владимирович – старший преподаватель кафедры «Коммерция и налогообложение» ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8 912-802-21-74.

Куликова Екатерина Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная механика и графика» ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8 912-802-21-75.

Кусков Виктор Николаевич – доктор технических наук, профессор, ТюмГНГУ. Тел.: 41-70-25; 34-27-12.

Майорова Татьяна Владимировна – старший преподаватель ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519)29-85-41.

Мезин Игорь Юрьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологий, сертификации и сервиса автомобилей ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519) 29-84-31.

Мещеряков Эдуард Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры подземной разработки месторождений полезных ископаемых ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направления исследований: подземная геотехнология, структура горнотехнических систем, геомеханика подземной добычи руд. Тел. (3519) 22-21-13; e-mail: ntc@magtu.ru.

Мещеряков Юрий Борисович – доцент кафедры теоретической механики и сопротивления материалов ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Мишурина Ольга Алексеевна – аспирант кафедры химии, технологии упаковочных производств ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: olegro74@mail.ru.

Молочков Павел Александрович – кандидат технических наук, и.о. доцента ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519)29-85-30.

Мулякко Михаил Николаевич – аспирант кафедры электрометаллургии и литейного производства ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8 (3519) 29-85-30.

Некорова Татьяна Валерьевна – аспирант кафедры открытой разработки месторождений полезных ископаемых ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8 (3519) 29-85-56.

Никитенко Ольга Александровна – студентка гр. ТММ-04 кафедры материаловедения и термической обработки металлов ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Паршин Павел Радиславович – директор ЗАО «МПС-Сервис». Тел. 8(3519) 35-19-31. Факс 8(3519) 35-97-33.

Петрищев Сергей Александрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электрооборудование и электрохозяйства предприятий, организаций и учреждений» Златоустовского филиала ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет». Тел. +79193279999. E-mail: psa27@mail.ru.

Портнова Ирина Васильевна – инженер кафедры вычислительной техники и прикладной математики ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519)29-85-36, e-mail: otvetsek@magtu.ru.

Потапов Денис Алексеевич – ассистент ТюмГНГУ. Тел.: 41-70-25; 89222655550. E-mail: potapov_da@mail.ru

Потапов Михаил Геннадьевич – кандидат технических наук, и.о. доцента ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519)29-85-30.

Рудницкий Эдвард Анатольевич – ассистент кафедры ОМД Института цветных металлов и материаловедения ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Тел. 8 (391) 213-35-50; 89135175085. E-mail: ed_ru@mail.ru.

Сенькин Константин Васильевич – начальник контрольного участка аглодоменной лаборатории ЦЛК ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Тел. 8(3519)24-18-43.

Сергеев Юрий Сергеевич – аспирант кафедры «Электромеханика и электромеханические системы» ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет», г. Челябинск. Тел. +79127728777. E-mail: kbvt@list.ru.

Сибатуллин Салават Камирович – доктор технических наук, профессор кафедры металлургии черных металлов ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8 (3519) 29-84-30.

Солопко Ирина Владимировна – старший преподаватель кафедры автоматизации производственных процессов Института цветных металлов и материаловедения ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Тел.: 8 (391) 213-35-19, 89631814756. E-mail: IVS7@Inbox.ru.

Столяров Александр Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры металлургии черных металлов, доцент ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519) 29-84-49.

Трофимов Евгений Алексеевич – кандидат химических наук, доцент кафедры общей металлургии Златоустовского филиала ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет». Тел. 8 (351) 366-58-29. E-mail: tea@zb-susu.ru.

Угрюмов Александр Николаевич – аспирант кафедры подземной разработки месторождений полезных ископаемых ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (3519) 22-21-13. E-mail: ntc@magtu.ru.

Харченко Олег Алексеевич – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры теплотехнических и энергетических систем ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519)29-84-21, e-mail: olegbnk@mail.ru.

Ходюков Борис Петрович – заместитель технического директора ОАО «Красноярский завод цветных металлов им. В.Н. Гулидова». Тел. 8 (391) 259-33-26.

Цыбров Сергей Васильевич – кандидат технических наук, начальник литейного производства ЗАО «Механоремонтный комплекс», г. Магнитогорск.

Чевычелов Андрей Витальевич – начальник доменного цеха ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Тел. 8(3519)24-38-77.

Чуманов Валерий Иванович – кандидат технических наук, профессор кафедры общей металлургии Златоустовского филиала ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет». Тел. 8 (351) 366-58-29. E-mail: maria@zb-susu.ru.

Чуманов Илья Валерьевич – профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой общей металлургии Златоустовского филиала ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет». Тел. 8 (351) 366-58-29. E-mail: chiv71@susu.ac.ru.

Швецова Елизавета Сергеевна – студентка гр. ЭФ-03 ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. (35140) 2-02-87. E-mail: LiaSh_86@mail.ru.

Шеркунов Виктор Георгиевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Машины и технологии обработки материалов давлением» ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет», г. Челябинск. Тел. 8 (351) 267-92-24. E-mail: mitomd@susu.ru.

Щуров Григорий Викторович – начальник ЛПЦ-7 ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Тел. 8(3519)24-64-28.

Яковлева Екатерина Сергеевна – старший преподаватель кафедры технологий, сертификации и сервиса автомобилей ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519)29-84-31, 89127941669. E-mail: katrinkati@mail.ru.

Ячиков Игорь Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники и прикладной математики ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519)29-85-63, e-mail: Jachikov@mail.ru.

THE INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aksenova Mariya Vladimirovna – post-graduated department of technology, certification and service vehicles of Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov. Tel.: 8 (3519) 29-84-31.

Barankova Inna Ilinichna – Candidate of Technical Sciences, the senior lecturer, managing faculty of Computer science and information technologies of Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov. Tel.: 8-3519-051-141. E-mail: INNA_BARANKOVA@mail.ru.

Baskakova Nadezda Timofeyevna – senior teacher at the chair of Economics and Management of the state general educational establishment the supreme professional association «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Tel.: 8 (3519) 29-84-43.

Bekker Vyacheslav Philippovich – Candidate of Sciences, assistant prof. of the technological processes automation department of SEI HPE «Permski State Technical University». Tel.: 8 (3424) 26-90-90.

Belyaev Sergei Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department «Metal Forming», the Institute of Non-Ferrous Metals and Material Science of FGOU VPO «Sibirskij Federal University», Krasnoyarsk. Tel.: 8 (3912) 29-66-05; 8(3912)24-48-12; 8-902-929-60-60. E-mail: 244812@mail.ru.

Chevychelov Andrey Vitalevich – the chief of Domain shop of Open Society «Magnitogorsk metallurgical industrial complex». Tel.: 8(3519)24-38-77.

Chumanov Iliya Valerievich – Doctor of Engineering Science, Professor, Head of the General Metallurgy department, South Ural State University, Zlatoust Branch. Tel.: 007-351-3665829. E-mail: chiv71@susu.ac.ru.

Chumanov Valeriy Ivanovich – Candidate of Engineering Science, professor of the General Metallurgy department, South Ural State University, Zlatoust Branch. Tel.: 007-351-3665829. E-mail: maria@zb-susu.ru.

Churov Grigoriy Viktorovich – superintendent of roll-formed production at Joint stock company «the Magnitogorsk Metallurgical Combine». Tel.: 8(3519)24-64-28.

Dovzhenko Nikolai Nikolaevich – Doctor of Technical Sciences, Innovation Techniques and Development of Research Resource Base Pro-rector of FGOU VPO «Sibirskij Federal University», Professor of the Department of «Metal Forming» of the University of Non-Ferrous Metals and Material Science. Tel.: 8 (391) 244-89-04.

Duodorov Evgeny Alexandrovich – chief constructor of CSC «Metallpromservice», post-graduate of extramural form of the state general educational establishment. The supreme professional association «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Tel.: 8 (3519) 35-19-31, 22-21-02. Fax: 8 (3519) 35-97-33 E mail: dea-konstruktor@mail.ru.

Dzaparov V.K. – candidate of technical science, the senior lecturer of faculty BZHD SKGMI (STU).

Gibadyllin Zakariya Ravgatovich – post-graduate student at the department of the underground mining of natural resources at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov», director of Sibajsky Branch OJSC «Uchalinsky GOK».

Gmyzina Nataly Victorovna – h.teacher of the Ore Dressing department of SEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Tel.: 8 (3519) 29-85-55.

Golubchik Edward Mikhaylovich – the principal engineer of Cold-Rolled Products central laboratory of control Joint stock company «Magnitogorsk Metallurgical Combine», assistant professor, the candidate of tech. sciences. Tel: 8(3519)25-17-31. E-mail: gem@mmk.ru.

Gorohov Yuri Vasylyevich – candidate of technical sciences, associate professor metal forming department institute nonferrous metals and materials technology Siberian Federal University, Krasnoyarsk. Tel.: 8 (391) 213-35-50, 89232846674.

Gostenin Vladimir Aleksandrovich – Candidate of Technical Sciences, the chief Open Society department «Magnitogorsk metallurgical industrial complex». Tel.: 8 (3519) 24-38-61.

Harchenko Oleg Alekseevich – cand. of technical sciences, senior lecturer of the department «Heat-technical and energy systems» at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Tel.: (3519)29-84-21, e-mail: olegbnk@mail.ru.

Hodjukov Boris Petrovich - Deputy Technical Director of OJSC «Krasnoyarsk Plant of Non-ferrous metals named after V.N. Gulidov». Tel.: (391)2593326.

Kadoshnikov Vladimir Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, the senior lecturer, managing faculty «the Applied mechanics and the schedule» the state general educational establishment The supreme professional association «Magnitogorsk state technical university named after G.I.Nosov». Tel.: 8 (3519) 29-84-75. E-mail: kvi-51@mail.ru.

Kadoshnikova Irina Dmitrievna – the senior lecturer of faculty «the Applied mechanics and the schedule» the state general educational establishment The supreme professional association «Magnitogorsk state technical university named after G.I.Nosov». Tel.: 8 (3519) 20-76-30.

Kirin Yuri Petrovich – Candidate of Sciences, assistant prof. of the technological processes automation department of SEI HPE «Permski State Technical University». Tel.: 8 (3424) 26-90-90.

Kolokoltsev Valeriy Mikhailovich – Doctor of Sciences, prof., rector of SEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Tel.: 8 (3519) 22-44-46.

Konstantinov Igor Lazarevich – candidate of technical sciences, associate professor metal forming department institute nonferrous metals and materials technology Siberian Federal University, Krasnoyarsk. Tel.: 8 (391) 213-35-50, 89135747242. E-mail: ILCon@mail.ru.

Koptsev Valeriy Vladimirovitch – candidate of technical science, associate prof. of the department thermal technical and power systems of SEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Tel.: 8(3519) 22-34-78. E-mail: Koptsev2002@mail.ru.

Koptseva Natalja Vasiljevna – Candidate of Technical Sciences, acting Professor of the Department of Material Science and Thermal Treatment of Metals of GOU VPO «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Tel.: 8(3519)29-85-67. E-mail: koptsev2002@mail.ru

Korinchenko Gulnara Marsovna – the senior teacher of faculty of Computer science and information technologies of Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov. Tel.: 8-902-899-0-999.

Kozlov Alexander Vasilievich – Candidate of Sciences, assistant prof., Head of the department «Machine building technology, machines and tools» of SEI HPE «Yuzhno-Uralskii State University». Tel.: 8 (3513) 63-43-78. E-mail: kozlov@zb-susu.ru.

Krylov Aleksei Petrovich – Candidate of Technical Sciences, associate professor of Tyumen GNSU. Tel.: 41-70-25; 89129278688.

Kulikov Sergey Vladimirovich – the senior teacher of faculty «Commerce and taxes» the state general educational establishment The supreme professional association «Magnitogorsk state technical university named after G.I.Nosov». Tel.: 8 912-802-21-74.

Kulikova Ekaterina Vladimirovna – Candidate of Technical Sciences, the senior lecturer of faculty «the Applied mechanics and the schedule» the state general educational establishment The supreme professional association «Magnitogorsk state technical university named after G.I.Nosov». Tel.: 8 912-802-21-75.

Kuskov Viktor Nikolaevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Tyumen GNSU. Tel.: 41-70-25; 34-27-12.

Kuznetsova Tatiyana Sergeevna – a candidate of the technical sciences, assistant professor of the department «Open mining of mineral deposits» at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Tel.: 8(3519) 29-85-56.

Majorova Tatyana Vladimirovna – the senior teacher of The state educational institution of the higher vocational training «Magnitogorsk state technical university named after G.I.Nosov». Tel.: 8(3519)29-85-41.

Mechsherykov Eduard Yryevich – associate professor at the department of the underground mining of natural resources, candidate of technical science at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». E-mail: ntc@magtu.ru.

Mescheryakov Yuriy Borisovich – assistant professor of the department «Theoretical mechanics and strength of materials» at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov».

Mezin Igor Yurjevich – Doctor of technical sciences, professor, head of the department «Technologies, certification and automobile service» of SEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Tel.: 8(3519) 29-84-31.

Mishurina Olga Aleksievna – post-graduate student at the department of the chemistry, technologies of packing productions of «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». E-mail: olegro74@mail.ru.

Molochkov Pavel Aleksandrovich – Candidate of Sciences, acting as assist. prof. of SEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Tel.: 8(3519)29-85-30.

Mulyavko Mikhail Nikolaevich – post graduate student of SEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Tel.: 8(3519)29-85-30.

Neckerova Tatiyana Valerievna – a graduate student of the department «Open mining of mineral deposits» at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Tel.: 8(3519) 29-85-56.

Nikitenko Olga Aleksandrovna – a student of the gr. TMM-04 of the Department of Material Science and Thermal Treatment of Metals of GOU VPO «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov».

Parshin Pavel Radislavovich – director of CSC «MGTS-Service». Tel.: (3519) 35-19-31. Fax: 8(3519) 35-97-33.

Petrishev Sergey Aleksandrovich – candidate of technical science, associate professor of department «Automation of management by electrosupply systems» at the State Educational Institution of High Professional Education South Ural State University, branch in Zlatoust. Тел. +79193279999. E-mail: psa27@mail.ru.

Portnova Irina Vasilevna – engineer at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Tel.: 8(3519)29-85-36, e-mail: otvetsek@magtu.ru.

Potapov Denis Alekseevich - the lecturer of Tyumen GNSU. Tel.: 41-70-25; 89222655550. E-mail: potapov_da@mail.ru

Potapov Mikhail Gennadjevich – Candidate of Sciences, acting as assist. prof. of SEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Tel.: 8(3519)29-85-30.

Rudnitskij Edward Anatoljevich - the lecturer of the Department of «Metal Forming» of the University of Non-Ferrous Metals and Material Science SEI HPE «Sibirskij Federal University». Tel.: 8 (391) 213-35-50; 89135175085. E-mail: ed_ru@mail.ru.

Senkin Konstantin Vasilevich – the chief of a control site Open Society laboratories «Magnitogorsk metallurgical industrial complex». Tel.: 8 (3519) 24-18-43.

Sergeev Yury Sergeevich – post-graduate student at the department «Electromechanics and electromechanical systems» at the State Educational Institution of High Professional Education South Ural State University. Tel.: +79127728777. E-mail: kbvt@list.ru.

Sherkunov Viktor Georgievich – Doctor of Sciences, prof. Head of the department «Machines and Technologies of Metal Forming» of SEI HPE «Yuzhno-Uralskii State University». Tel.: 8 (351) 267-92-24. E-mail: mitomd@susu.ru.

Shvetsova Elizaveta Sergeevna – student of power engineering faculty SEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov».

Sibagatullin Salavat Kamilovich – a Dr.Sci.Tech. of The state educational institution of the higher vocational training «Magnitogorsk state technical university named after G.I.Nosov». Tel.: 8(3519)29-84-30.

Solopko Irina Vladimirovna – senior lecturer computer-aided manufacturing department institute nonferrous metals and materials technology Siberian Federal University, t. Krasnoyarsk. Tel.: 8(391)2133519, 89631814756. E-mail: IVS7@inbox.ru.

Stolyarov Alexander Mikhailovich – Doctor of Sciences Prof., prof. of SEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Tel.: 8(3519) 29-84-49.

Trofimov Evgeny Alekseevich – Candidate of Engineering Science, associate professor of the General Metallurgy department, South Ural State University, Zlatoust Branch. Tel.: 007-351-3665829. E-mail: tea@zb-susu.ru.

Tsybrov Sergey Vasiljevich – Candidate of Sciences, Head of foundry engineering of CSC «Mechanical Repair Complex», Manitogorsk.

Ugryumov Alexander Nikolavich – post graduate student at the department of the underground mining of natural resources at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». E-mail: ntc@magtu.ru.

Volkov Pavel Vladimirovich – post- graduate student at the department of the underground mining of natural resources at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Tel.: 8(3519) 29-84-66.

Yachikov Igor Mikhailovich – cand. of technical sciences, assist. prof. of the department «Computer engineering and applied mathematics» at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Tel.: 8(3519)29-85-63, e-mail: Jachikov@mail.ru.

Yakovleva Ekaterina Sergeevna – senior lecturer of the department «Technologies, certification and service of automobiles» of GOU VPO «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Tel.: 8(3519)29-84-31, 89127941669. E-mail: katrinkati@mail.ru.

Yefimova Julia Jurjevna – an engineer of the Department of Engineering and Metallurgical Technologies of GOU VPO «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Tel.: 8(3519)29-85-12.

Zadonskaya Tatiyana Anatoljevna – student of power engineering faculty SEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov»

Zatonsky Andrei Vladimirovich – Candidate of Sciences, assistant prof. of the technological processes automation department of SEI HPE «Permski State Technical University». Tel.: 8 (3424) 26-90-90.

Zhirkin Jury Vasiljevich – cand. tech. sc., professor of chair «Mechanical equipment of Metallurgical works» of the state general educational establishment. The supreme professional association «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Tel.: 8(3519) 29-85-07, 20-59-39. Fax: 8(3519) 29-84-92. E-mail: Girkin@mail.ru

Zyabkin Oleg Vyacheslavovich – the lecturer of Tyumen GNSU. Tel.: 41-70-25; 89058202089. E-mail: rsr666@yandex.ru.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Мы приглашаем Вас к участию в нашем журнале в качестве авторов, рекламодателей и читателей.

Журнал формируется по разделам, отражающим основные направления научной деятельности ученых МГТУ, в частности:

- РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.
- МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ.
- ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ.
- ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО
- ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ.
- МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ.
- СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ.
- МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.
- НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ.
- ЭНЕРГЕТИКА МЕТАЛЛУРГИИ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ.
- УПРАВЛЕНИЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ.
- СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ.
- ЭКОЛОГИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ.
- ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И РЫНОК ПРОДУКЦИИ.
- СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ, ПОДГОТОВКА И ОБУЧЕНИЕ СПЕЦИАЛИСТОВ.
- ИНФОРМАЦИЯ И ДР.

Раздел «Новые исследования» или «Краткие сообщения» предназначен для оперативной публикации работ преимущественно аспирантов. В журнал входят учебно-методический и библиографический разделы.

Общее количество разделов и их объем может варьироваться от номера к номеру.

ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ, ПРИНИМАЕМЫМ К ПУБЛИКАЦИИ

I. Рекомендуемый объем статьи – 6–8 стр.

К статье прилагаются:

- 1) акт экспертизы;
- 2) рецензия;
- 3) сведения об авторах (на английском и русском языках): полное название учреждения, фамилия, имя, отчество, ученая степень, направление исследований, звание и должность, контактный телефон и E-mail;
- 4) реферат на английском и русском языках по следующему образцу (~200 знаков):

UDC 622.27

Ivanov I.I., Petrov P.P. Development of gold-ore deposits extraction systems.

The method of sloping is represented...

Fig. 2. Table 2. Bibliogr. 7 names.

- 5) библиографический список на английском и русском языках;
- 6) ключевые слова на английском и русском языках.

II. Текст статьи, сведения об авторах, реферат, библиографический список и ключевые слова представляются на электронном носителе в виде файла, созданного средствами Microsoft Word, и распечаткой на стандартных листах бумаги формата А4.

При наборе статьи в Microsoft Word рекомендуются следующие установки:

1) **шрифт** – **Times New Roman**, размер – 14 пт, межстрочный интервал – одинарный, перенос слов – автоматический;

2) при вставке **формул** использовать встроенный редактор формул **Microsoft Equation** со стандартными установками;

3) **рисунки и фотографии**, вставленные в документ, должны быть четко выполнены, допускать перемещение в тексте и возможность изменения размеров (толщины линий и размеры обозначений должны обеспечивать четкость при уменьшении рисунка до рациональных размеров). Рисунки предоставлять в виде распечатки на стандартных листах бумаги формата А4 и отдельным файлом в формате *.TIF, *.JPG, с разрешением **300 dpi**, B&W – для черно-белых иллюстраций, Grayscale – для полутонов, максимальный размер рисунка с подписью – 150×235 мм. В тексте статьи должны быть подрисочные надписи в местах размещения рисунков. Например:

Рис. 4. Расчётная зависимость $\gamma(t)=I_{\text{нв}}/I_{\text{но}}$ от времени и удалённости КЗ от выводов асинхронного двигателя

Внимание! Публикация статей является бесплатной. Преимущество опубликования представляется авторам и учреждениям, оформившим подписку на журнал.

Статьи проходят обязательное научное рецензирование.

Редакция оставляет за собой право отклонять статьи, не отвечающие указанным требованиям.

По вопросам публикации статей обращаться: 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. Магнитогорский государственный технический университет, Редколлегия журнала «Вестник МГТУ» М. Чукину.

Телефоны: (3519) 29-85-26, 29-85-17.

Факс (3519) 22-41-46.

E-mail: vestnik@magtu.ru; mgtu@magtu.ru; nis@magtu.ru (с указанием темы сообщения «Вестник МГТУ»).