

# ВЕСТНИК

Магнитогорского государственного  
технического университета им. Г. И. Носова

№ 4 (28) декабрь 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. Счастливец* – 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 15.12.2009.

Заказ 919. Тираж 500 экз. Цена свободная.



# VESTNIK

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

**№ 4 (28) December 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.

*S. A. Pesina* – 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 15.12.2009.

Order 919. Circulation – 500 items. Free price.



## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Разработка полезных ископаемых.....</b>	<b>5</b>
<i>Жариков С.Н.</i> О взаимосвязи между энергоёмкостью бурения и взрывания горных пород .....	5
<i>Бобров С.А., Кисляков В.Е.</i> Эколого-технологическая связь между способом вскрытия, системой разработки и схемой комплексной механизации .....	9
<i>Дударь Е.С.</i> Особенности формирования и расчет термовлажностного режима выработок калийных рудников .....	10
<b>Металлургия черных, цветных и редких металлов .....</b>	<b>15</b>
<i>Колокольцев В.М., Иванова И.В.</i> Литейная сталь для штампов горячего деформирования.....	15
<i>Панычев А.А., Никонова А.П.</i> Параметры агломерации михайловских и лебединских концентратов.....	18
<i>Ячков И.М., Логунова О.С.</i> Управление объемными электромагнитными силами в ванне дуговой печи постоянного тока .....	22
<i>Дюльдина Э.В., Селиванов В.Н., Лозовский Е.П.</i> Формирование шлака в промежуточном ковше МНЛЗ ....	26
<b>Обработка металлов давлением.....</b>	<b>30</b>
<i>Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Соколов Р.Е., Беляев С.В., Лопатина Е.С., Барков Н.А., Ворошилов Д.С.</i> Разработка устройств и технологии для получения проволоки из труднодеформируемых алюминиевых сплавов с применением методов совмещенной обработки .....	30
<i>Славин В.С.</i> Выбор параметров для описания очага деформации, образованного произвольным количеством роликов .....	34
<i>Козлов А.В., Шеркунов В.Г., Хилькевич Я.М.</i> Механизмы снижения усилий гибки труб при их раскатывании с большими натягами .....	36
<b>Наноматериалы и нанотехнологии.....</b>	<b>40</b>
<i>Каменева А.Л.</i> Изучение влияния технологических условий формирования пленок на основе ZrN на их структуру и свойства методом магнетронного распыления.....	40
<b>Стандартизация, сертификация и управление качеством.....</b>	<b>47</b>
<i>Калмыков Ю.В., Михайловский И.А., Сальников В.В., Пестерев Д.А.</i> Анализ существующих способов формирования соединения и основные требования к качеству при сборке шаровых шарниров передней подвески автомобилей.....	47
<i>Рубин Г.Ш., Вахитова Ф.Т., Лебедев В.Н., Гусева Е.Н., Шишов А.А.</i> Методологический подход к управлению качеством метизной продукции, основанный на нечетких множествах .....	50
<i>Кинзин Д.И., Левандовский С.А., Наливайко А.В., Завьялов К.А.</i> Совершенствование методики определения показателей формоизменения металла для управления качеством профилей при прокатке в калибрах.....	54
<b>Моделирование металлургических процессов.....</b>	<b>57</b>
<i>Федосеев С.А., Вожаков А.В., Гитман М.Б.</i> Модель оптимального планирования производства на тактическом уровне с нечеткими ограничениями и критериями .....	57
<i>Сергеев С.В.</i> Принципы математического моделирования процессов проникания и движения вращающихся твердых тел в сплошных средах.....	65
<b>Надежность и долговечность металлургического оборудования.....</b>	<b>66</b>
<i>Пиксаев Е.В., Платов С.И.</i> Скольжение заготовки в роликовой проводке МНЛЗ.....	66
<b>Энергетика металлургии, энергосбережение и электротехнические комплексы.....</b>	<b>69</b>
<i>Селиванов И.А., Петухова О.И., Бодров Е.Э., Суздальев И.В.</i> Системы регулирования непрерывных станов с многовалковыми калибрами.....	69
<b>Строительные материалы и строительные технологии .....</b>	<b>73</b>
<i>Мирюк О.А.</i> Синтез вяжущих веществ с участием альбита .....	73
<b>Экономика, управление и рынок продукции.....</b>	<b>77</b>
<i>Белых В.Т., Маринина А.Г.</i> Обеспечение конкурентоспособности промышленного предприятия на основе реализации экологической стратегии .....	77
<b>Стратегия развития, подготовка и обучение специалистов.....</b>	<b>80</b>
<i>Оринина Л.В.</i> К вопросу о выборе образовательных стратегий в рамках поликультурного воспитательного пространства университета .....	80
<b>Рефераты .....</b>	<b>83</b>
<b>Reports.....</b>	<b>88</b>
<b>Сведения об авторах .....</b>	<b>92</b>
<b>The information about the authors .....</b>	<b>95</b>

## CONTENT

<b>Minerals mining</b> .....	<b>5</b>
<i>Zharikov S.N.</i> About the interrelation between drilling and blasting power-intensity of rock mass.....	5
<i>Bobrov S.A., Kislyakov V.T.</i> Ecological and technological connection between the method of opening, the system of development and the complex mechanization scheme .....	9
<i>Dudar E.S.</i> Creation Peculiarities and Prediction of the Thermo-Humid Conditions in Potash Mine Workings.....	10
<b>Ferrous, non-ferrous and rare metals metallurgy</b> .....	<b>15</b>
<i>Kolokoltsev V. M., Ivanova I. V.</i> Cast steel dies for hot deformation .....	15
<i>Panychev A.A., Nikonova A.P.</i> Agglomeration Parameters of the Concentrates from Mikhilovskaya and Lebedinskaya Ore Mines .....	18
<i>Jachicov I.M., Logunova O.S.</i> Volumetric electromagnetic forces control in DC arc furnace bath.....	22
<i>Djuldina E. V., Selivanov V.N., Lozovsky E.P.</i> Slag formation in a tundish of a continuous casting machine.....	26
<b>Metal forming</b> .....	<b>30</b>
<i>Sidelnikov S.B., Dovzhenko N.N., Biront V.S., Lopatina E.S., Lebedeva O.S., Stolyarov A.V., Uskov I.V., Shubakov A.P., Babushkin O.V.</i> The technology research of obtaining wire out of gold-containing alloys .....	30
<i>Slavin V.S.</i> Choice of Descriptive Parameters for Deformation Region Produced by Arbitrary Number of Rolls.....	34
<i>Kozlov A. V., Sherkunov V.G., Khilkevich Y.M.</i> Mechanisms that decrease bending forces during pipe bending .....	36
<b>Nanomaterials and nanotechnologies</b> .....	<b>40</b>
<i>Kameneva A.L.</i> Influence study of technological conditions of films formation based on ZrN by magnetron sputtering on their structure and properties .....	40
<b>Standardization, certification and quality management</b> .....	<b>47</b>
<i>Kalmykov Yu.V., Mikhailovsky I.A., Sabnikov V.V., Pesterev D.A.</i> Analysis of ways of joints arrangement and basic requirements to the quality of ball joints of vehicle front suspension during the assembly process.....	47
<i>Rubin G.Sh., Vakhitova F.T., Lebedev V.N., Guseva E.N., Shishov A.A.</i> The methodological approach to the hardware quality control based on the fuzzy sets.....	50
<i>Kinzin D.I., Levandovsky S.A., Nalivaikin A.V., Zav'yalov K.A.</i> Perfection of the method of determination metal deformation indexes for shape quality control at the section rolling .....	54
<b>Metallurgical processes modeling</b> .....	<b>57</b>
<i>Fedoseev S.A., Vozhakov A.V., Gitman M.B.</i> The production optimum planning model at the tactical level with illegible limitations and criteria .....	57
<i>Sergeev S. V.</i> Mathematical modeling principles of penetration processes and movements of rotating solid bodies in continuous environments.....	65
<b>Reliability and working life of metallurgical equipment</b> .....	<b>66</b>
<i>Piksaev E. V., Platov S.I.</i> The sliding of the ingot in roller posting CCM.....	66
<b>Power engineering in metallurgy, energy saving and electrical complexes</b> .....	<b>69</b>
<i>Selivanov I.A., Petukhova O.I., Bodrov E.E., Suzdalev I.V.</i> Control systems of multi-rolled calibrated continuous mills .....	69
<b>Construction materials and construction technologies</b> .....	<b>73</b>
<i>Mirjuck O.A.</i> The synthesis of binding materials with albit participation .....	73
<b>Economics, management and market</b> .....	<b>77</b>
<i>Belyh V.T., Marinina A.G.</i> Security competitiveness of industrial works (enterprise) based on realization of ecological strategy.....	77
<b>Development strategy and specialist training</b> .....	<b>80</b>
<i>Orinina L. V.</i> Concerning the problem of educational strategies at the university polycultural areal.....	80
<b>Рефераты</b> .....	<b>83</b>
<b>Reports</b> .....	<b>88</b>
<b>Сведения об авторах</b> .....	<b>92</b>
<b>The information about the authors</b> .....	<b>95</b>

## РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.026.3.5

Жариков С.Н.

### О ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ЭНЕРГОЁМКОСТЬЮ БУРЕНИЯ И ВЗРЫВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

В настоящее время в общей теории физики взрыва можно выделить три основные составляющие части: теория ударных волн, теория детонационной волны, энергетическая теория. В литературе по теории взрыва значения основных терминов у разных авторов несколько отличаются. Согласно анализу известной литературы о взрыве [1–6] значения основных терминов в обобщенном виде имеют следующие формулировки: *Среда* – идеальная жидкость с постоянной энтропией, имеющая большое количество молекул в любом малом объёме. Твёрдые и газообразные среды рассматриваются, как эквивалентные идеальной жидкости через теплопроводность. *Ударная волна* – скачок уплотнения среды, возникающий при её движении или перемещении со сверхзвуковой скоростью вследствие внешней нагрузки. *Фронт ударной волны* – поверхность, разделяющая возмущённую ударной волной среду от среды, находящейся в состоянии покоя. *Детонация* – процесс перемещения химической реакции окисления по объёму ВВ с постоянной сверхзвуковой скоростью. *Скорость детонации* – постоянная скорость перемещения зоны химической реакции по объёму ВВ. Для каждого ВВ имеет своё значение. *Фронт детонационной волны* – поверхность, связанная с фронтом ударной волны, отделяющая зону химической реакции и продуктов детонации от исходного ВВ.

С помощью теории ударных волн для жидких, газообразных и твёрдых сред определяются их основные параметры: скорость ударной волны, давление среды, плотность среды, энергия среды, размеры фронта ударной волны. Основным недостатком теории является то, что она не может объяснить, за счет чего происходит чрезвычайно быстрое перемещение горения по ВВ при взрыве.

Теория детонационной волны является развитием теории ударных волн. Она даёт определение явлению детонации и устанавливает основные параметры детонационного процесса: скорость детонации, скорость продуктов детонации, состояние среды за зоной и перед зоной химической реакции, внутренняя энергия продуктов детонации за зоной химической реакции, внутренняя энергия исходного вещества, размеры и структура фронта детонационной волны. Недостатком теории детонационной волны является невозможность объяснения перехода ударной волны в детонационную и детонационной волны в ударную.

Энергетическая теория является развитием двух

вышеуказанных теорий и основывается на изучении термодинамики, термодинамики взрывного процесса, исследовании взаимодействия детонационных и ударных волн. Использование аппарата теории позволяет управлять протеканием взрывных процессов, подбором соответствующего химического состава ВВ. Её недостатком является неполное объяснение механизма и закономерностей перехода ударной волны в детонационную и обратно.

В **таблице** приведены основные математические зависимости и область применения рассмотренных выше теорий.

Как показал анализ, энергетическая теория в настоящее время находится в развитии. Однако уже сейчас установлено, что разрушающее действие взрыва обусловлено взаимодействием энергии взрывного устройства и окружающей среды. Учитывая это обстоятельство, взрываемость горных пород как показатель необходимой для их разрушения работы взрыва целесообразно оценивать с энергетической точки зрения.

Взрываемость горного массива в настоящее время оценивают по удельному эталонному расходу ВВ. В существующих методиках эталонный расход ВВ принимается, исходя из разных факторов, в том числе физико-механических свойств горных пород.

По Ржевскому В.В. эталонный удельный расход ВВ определяется следующим образом [7]:

$$q = k_1 \cdot (\sigma_{сж} + \sigma_{сд} + \sigma_{раст}) + k_2 \cdot \gamma, \quad (7)$$

где  $q$  – эталонный расход ВВ для дробления  $1 \text{ м}^3$  породы на куски размером  $0,5 \text{ м}$  при шести свободных поверхностях (свободно подвешенный куб) с расположением заряда в центре куба,  $\text{г/м}^3$ ;  $k_1, k_2$  – эмпирические коэффициенты;  $\sigma_{сж}$  – предел прочности породы на сжатие, МПа;  $\sigma_{сд}$  – предел прочности породы на сдвиг, МПа;  $\sigma_{раст}$  – предел прочности породы на растяжение, МПа;  $\gamma$  – плотность горной массы,  $\text{т/м}^3$ .

Следует отметить, что эмпирические коэффициенты (ф-ла (7)) определены на основе статистического анализа. Как показывает практика, на разных участках горного массива одна и та же порода может иметь разные физико-механические свойства. Поэтому помимо предварительного аналитического обоснования проектный расход ВВ в начальный период эксплуатации карьера определяется на основе не менее чем трёх



## Анализ теорий взрыва

Наименование теории взрыва	Описываемые явления	Основное математическое описание	Область применения
Теория ударных волн	Движение возмущённой среды и её взаимодействие со средой невозмущённой	$\begin{cases} u_2 - u_1 = \sqrt{(p_2 - p_1)(v_1 - v_2)}, & D - u_1 = v_1 \sqrt{\frac{p_2 - p_1}{v_1 - v_2}}, \\ E_2 - E_1 = \frac{p_2 + p_1}{2}(v_1 - v_2) - p_2 - p(\rho_2, T_2), \end{cases} \quad (1)$ <p>где <math>u_1, u_2</math> – компоненты скорости потока среды по обе стороны от поверхности и разрыва; <math>\rho</math> – плотность среды; <math>v_1, v_2</math> – удельные объёмы среды до и после разрыва; <math>p_1, p_2</math> – давления среды; <math>D</math> – скорость распространения фронта ударной волны; <math>T</math> – температура среды; <math>E_{1,2}</math> – энергия</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установление параметров ударных волн в жидких, газообразных и твёрдых телах в зависимости от параметров внешней нагрузки.</li> <li>2. Исследование причин возникновения ударных волн, условий их распространения и затухания</li> </ol>
Теория детонационной волны	Детонация ВВ. Взаимодействие ударных волн и детонации при взрыве	$\begin{cases} u_H = (v_o - v_H) \sqrt{\frac{p_H - p_o}{v_o - v_H}}, \\ p = p_o + \frac{v_o - v}{v_o^2} D^2, \\ E_H(p_H, v_H) - E_o(p_o, v_o) = \frac{1}{2}(p_H + p_o)(v_o - v_H) + Q, \end{cases} \quad (2)$ <p>где <math>D</math> – скорость детонации, равная скорости перемещения зоны химической реакции; <math>u_H</math> – скорость продуктов детонации за фронтом волны; <math>p_H, \rho_H, T_H</math> – параметры состояния за зоной химической реакции; <math>p_o, \rho_o, T_o</math> – параметры состояния перед зоной химической реакции; <math>v_o = 1/\rho_o, v_H = 1/\rho_H</math> – удельный объём исходного ВВ (перед зоной химической реакции) и продуктов его взрывчатого превращения за зоной химической реакции; <math>E_H</math> – удельная внутренняя энергия продуктов за зоной химической реакции; <math>E_o</math> – удельная внутренняя энергия исходного вещества; <math>Q</math> – удельная теплота взрывчатого превращения</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установление необходимого для детонации начального импульса.</li> <li>2. Расчёт скорости детонации для конкретного химического состава ВВ.</li> <li>3. Исследование характеристик ВВ: скорость детонации, плотность, теплота взрыва</li> </ol>
Энергетическая теория	Термохимия и термодинамика взрывного процесса. Взаимодействие ударных волн и детонации при взрыве	$Q_{\text{взр}} = \sum Q_{\text{ПВ}} - Q_{\text{ВВ}} \quad \text{или} \quad Q_{\text{взр}} = -\sum \Delta H_{\text{ПВ}}^{\circ} + \Delta H_{\text{ВВ}}^{\circ}; \quad (3)$ $Q_v = Q_p + Ap(v_2 - v_1); \quad (4)$ $\left. \begin{aligned} C_a H_b N_c O_d &\rightarrow a \text{CO}_2 + \frac{b}{2} \text{H}_2\text{O} + \frac{c}{2} \text{N}_2 + \frac{1}{2} \left( d - 2a - \frac{b}{2} \right) \text{O}_2 \\ C_a H_b N_c O_d &\rightarrow \frac{b}{2} \text{H}_2\text{O} + \left( d - a - \frac{b}{2} \right) \text{CO}_2 + \left( 2a - d + \frac{b}{2} \right) \text{CO} + \frac{c}{2} \text{N}_2 \\ a + b/2 &\leq d < 2a + b/2 \end{aligned} \right\} \quad (5)$ $D = W + C, \quad (6)$ <p>где <math>W</math> – скорость частицы или скорость газового облака; <math>C</math> – скорость звука в потоке; <math>A</math> – механический эквивалент тепла; <math>p</math> – конечное давление ПВ; <math>v_1</math> и <math>v_2</math> – соответственно начальный и конечный удельные объёмы газов</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Исследования характеристик ВВ: скорость детонации, плотность, теплота и работа взрыва, (2)–(6).</li> <li>2. Выбор рецептуры ВВ, соответствующей заданным технологическим и экологическим требованиям, ф-ла (5).</li> <li>3. Исследование взаимосвязи между процессами, протекающими при взрыве</li> </ol>

опытных взрывов в конкретных условиях, а затем осуществляется разработка типового проекта, в котором определяется внутренняя классификация горных пород по взрываемости и буримости.

Таким образом, существующие методы определения взрываемости на основе эталонного расхода ВВ не полностью учитывают условия залегания горных пород при разработке месторождения. Поэтому при определении взрываемости необходимо ориентироваться не только на физико-механические свойства горных пород, их трещиноватость, вязкость и др., но и учитывать взаимодействие энергии заряда ВВ с энергией разрушения взрывающегося массива.

И.А. Тангаев [8] предложил оценивать взрываемость горных пород через взаимосвязь между полной работой взрыва ( $q_3$ , МДж/м<sup>3</sup>) и полезной работой при бурении скважины ( $e$ , кВтч/м<sup>3</sup>):

$$q_3 = 0,15 + 0,011e, \quad (8)$$

$$e = \frac{N \cdot t}{q_{ГМ}}, \quad (9)$$

где  $q_{ГМ}$  – выход горной массы с одного погонного метра скважины, м<sup>3</sup>;  $t$  – среднее время бурения одного погонного метра;  $N$  – мощность, потребляемая двигателем вращателя, кВт.

С другой стороны, энергоёмкость взрыва определяется следующим образом:

$$q_3 = \frac{Q_{y0} \cdot m_{ВВ}}{V}, \quad (10)$$

где  $Q_{y0}$  – удельная теплота взрыва на 1 кг ВВ, МДж/кг;  $m_{ВВ}$  – масса ВВ, кг;  $V$  – объём взрывающейся горной массы, м<sup>3</sup>.

Тогда зависимость (8) имеет вид:

$$\frac{Q_{y0} \cdot m_{ВВ}}{V} = 0,15 + 0,011e. \quad (11)$$

Таким образом, энергоёмкость бурения пропорциональна энергии разрушения горной породы и работе взрыва. В этом случае появляется возможность по известной или прогнозируемой энергоёмкости бурения в породе установить необходимую полную работу взрыва, а следовательно, и расход ВВ. Однако указанная зависимость (ф-ла (8)) не учитывает изменение свойств горных пород и определена только для предприятий, на которых проводились исследования, поэтому может быть несправедливой для других.

С позиции энергетической теории энергоёмкость разрушения горных пород при бурении определяется, главным образом, свойствами разрушающей нагрузки. Основными показателями этой нагрузки являются сила и её работа, в нашем случае это осевое усилие и энергия вращения бурового става. Согласно [9] мощность двигателя вращателя учитывает осевое усилие, создаваемое при подаче, через момент вращения. По Крюкову Г.М. [10], мощность компрессора, подающе-

го сжатый воздух в скважину, не зависит от осевого усилия, следовательно, работа, затраченная на очистку скважины, не может достаточно характеризовать энергию разрушения горных пород. Таким образом, энергия разрушения породы может быть в достаточной мере описана полезной работой при бурении, которая пропорциональна мощности вращателя и соответственно скорости бурения пород с конкретными физико-механическими свойствами.

Установленная зависимость между полной работой взрыва и полезной работой бурения позволяет определить, на сколько большую энергию нужно затратить при взрывании с заданной степенью дробления горной массы по отношению к энергоёмкости бурения. Для отдельного типа породы эта зависимость описывается выражением

$$\frac{q_{Эi}}{e_i} = \Pi_i, \quad (12)$$

где  $e_i$  – энергоёмкость бурения  $i$ -породы;  $q_{Эi}$  – энергоёмкость взрыва  $i$ -породы;  $\Pi_i$  – показатель, учитывающий отношение энергоёмкости взрыва к энергоёмкости бурения для  $i$ -породы.

В обобщённом виде для всех типов пород в карьере отношение энергоёмкости взрыва к энергоёмкости бурения можно выразить следующим образом:

$$q_3 = f(e). \quad (13)$$

Таким образом, задачей исследований является установление и анализ этой зависимости в конкретных условиях разработки месторождения. Зависимость (13), определённая для конкретного месторождения, во времени может потребовать корректировки входных параметров при расчётах. При смене диаметра скважины изменится энергоёмкость бурения, а при смене ВВ – его расход. Расход ВВ корректируется переводным коэффициентом работоспособности к эталонному. Энергоёмкость бурения предлагается корректировать исходя из соотношения

$$e_i^1 = \frac{D_1^2}{D_2^2} \cdot e_i, \quad (14)$$

где  $e_i$  – энергоёмкость бурения при старом диаметре долота;  $e_i^1$  – энергоёмкость бурения при новом диаметре долота;  $D_1$  – старый диаметр долота;  $D_2$  – новый диаметр долота.

Исследование количественной взаимосвязи энергоёмкости взрыва и энергоёмкости бурения на Главном карьере Качканарского ГОКа осуществлялось на основе отчётной документации маркшейдерской службы, бурового и взрывного цехов за 2006 год. Энергоёмкость взрыва блоков определена (ф-ла (10)) для ВВ – ОМ-70 с удельной теплотой взрыва 3,35 МДж/кг. Энергоёмкость бурения определена (ф-ла (9)) для станка СБШ-250МН с диаметром скважины 250 мм. Выход горной массы с одного погонного метра скважины определён на основе данных по количеству буренных

погонных метров в блоке и объёму блока. Время бурения одного погонного метра скважины в блоке определено как среднее согласно доле пробуренных погонных метров скважин по каждой категории буримости. Мощность, потребляемая двигателем вращателя бурового станка, задана 30 кВт и соответствует нормальным режимам бурения.

Исследования зависимости энергоёмкости взрывания от энергоёмкости бурения на Главном карьере Качканарского ГОКа показали, что в абсолютных величинах это степенная функция (см. рисунок). Точки на графике отражают взорванные блоки.

Для пород Главного карьера Качканарского ГОКа зависимость между энергоёмкостями взрывания и бурения с достаточной точностью (коэффициент корреляции  $R=0,85$ ) описывается выражением

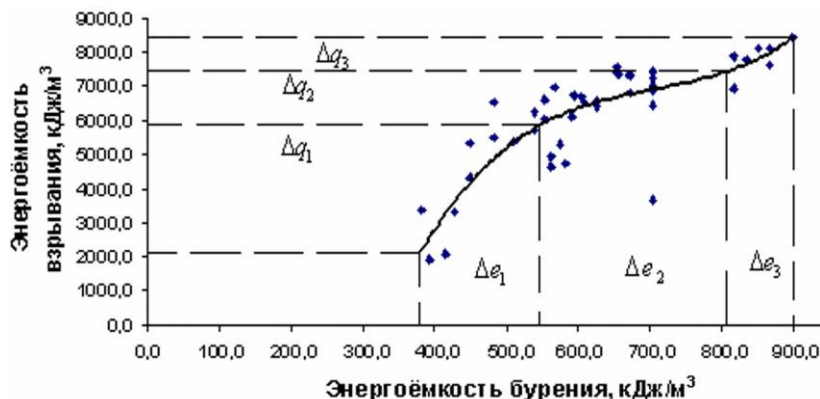
$$q_v = 10^{-4} \cdot e^3 - 0,21 \cdot e^2 + 153,6 \cdot e - 31276,6. \quad (15)$$

График, представленный на рисунке, имеет две точки перегиба при возрастании энергоёмкости бурения. На Главном карьере бурение ведётся в 17, 18 и 19 категории буримости по ЦБНТ. Точки перегиба графика показывают на переход от одной категории буримости к другой. Каждой категории буримости пород соответствует ряд значений энергоёмкости взрывания.

Это свидетельствует о том, что по буримости горных пород возможно определить их взрываемость. Таким образом, использование указанной выше зависимости и прогнозирование буримости горных пород позволяют подобрать рациональные параметры БВР будущих периодов.

#### Список литературы

1. Кутузов Б. Н. Разрушение горных пород взрывом: учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГИ, 1992. 516 с.: ил.
2. Физика взрыва: в 2 т. / под ред. Л.П. Орленко. Изд. 3-е, перераб. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002.
3. Баум Ф.А., Станюкович К.П., Шехтер Б.И. Физика взрыва. М.: Физматгиз, 1959. 792 с.
4. Михельсон В.А. О нормальной скорости воспламенения гремучих газовых смесей // Учен. зап. Имп. Моск. ун-та, отд. физ.-мат. 1893. Вып. 10. С. 1–92.
5. Покровский Г.И. Взрыв. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1980. 190 с.
6. Кук М.А. Наука о промышленных взрывчатых веществах: пер. с англ. / под. ред. Г.П. Демидюка и Н.С. Бахаревич. М.: Недра, 1980. 453 с.
7. Корнилов С.В., Стенин Ю.В., Стариков А.Д. Расчёт параметров буровзрывных работ при скважинной отбойке на карье-



Зависимость энергоёмкости взрывания от энергоёмкости бурения на Главном карьере Качканарского ГОКа

- рах: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1997. 112 с.
8. Тангаев И.А. Буримость и взрываемость горных пород. М.: Недра, 1978. 184 с.
  9. Открытые горные работы: справочник / КН Трубецкой, М.Г. Потапов, К.Е. Винницкий, Н.Н. Мельников и др. М.: Горное бюро, 1994. 590 с.
  10. Крюков Г.М. Физика разрушения горных пород при бурении и взрывании: учеб. пособие. М.: МГУ, 2004. С. 48–49.

#### List of literature

1. Koutuzov B.N. rock breakdown by explosion. A text-book for higher educ.instit. 3d edition revised and suppl. M: MMI Publishing house, 1992. 516 p.: illustr.
2. The physics of an explosion / Edited by L.P. Orlenko. 3d edition revised. In 2 vol. M.: PHYSMATLIT, 2002.
3. Baum F.A., Stanyukovich K.P., Shekhter B.I. The physics of an explosion. M.: Physmatgiz Publishing house, 1959. 792 p.
4. Mihelson V.A. On normal velocity of fire-damp gas mixtures ignition. // Transactions. Imp. Moscow University, physics-mathematics dep. 1893. Issue 10. P. 1–92.
5. Pokrovsky G.I. An explosion. 4th edition revised and suppl. M.: Nedra, 1980. 190 p.
6. Kuck M.A. The study on industrial blasting agents. Translation from Engl. Edited by G.P. Demidjuk and N.S. Bakharevitch. M.: Nedra, 1980. 453 p. New edition: the USA, 1974.
7. Kornilov S.V., Stenin U.V., Starikov A.D. Parameters calculation of drilling-blasting operations conducting borehole breaking in the open-pits.: Technical appliance. Ekaterinsburg: UGGGA publishing house, 1997. 112 p.
8. Tangaev I.A. Rock drillability and explosibility. M.: Nedra, 1978. 184 p.
9. Reference book. Open-pit mining operations. / K.N. Trubetzkoy, M.G. Potapov, K.E. Vinnitzky, N.N. Melnikov and others. M.: Mining bureau, 1994. 590 p.: ill. P. 144–145.
10. Krjukov G.M. Rock breakdown physics conducting drilling and blasting operations. Part II. Rock breakdown while drilling. Section II. Rolling, rotary, rotary-percussive and percussive-rolling drilling practice. Training manual for students, speciality 091000 "Blasting Art" MSGU, 2004. 102 p. P. 48–49.



Бобров С.А., Кисляков В.Е.

## ЭКОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ МЕЖДУ СПОСОБОМ ВСКРЫТИЯ, СИСТЕМОЙ РАЗРАБОТКИ И СХЕМОЙ КОМПЛЕКСНОЙ МЕХАНИЗАЦИИ

Связь между способом вскрытия, системой разработки и схемой комплексной механизации характеризуется только как технологическая и находится в прямой и полной зависимости от режима горных работ, а также связана с направлением, порядком развития и интенсивностью горных работ [1, 2]. Например, способы вскрытия определяются видом вскрываемых выработок. Последние устанавливают признаки способа вскрытия.

Способ вскрытия связан также со структурой комплексной механизации, которая, в свою очередь, определяет наименование системы разработки по признаку перемещения вскрышных пород и полезного ископаемого. Таким образом, всё это указывает на отсутствие таких важных признаков, которые характеризовали бы её как эколого-технологическую, и при этом устанавливали механизмы взаимосвязи не только между процессами горных, но и ландшафтно-восстановительных работ, что, несомненно, позволит обосновать объемы вскрышных, добычных ландшафтно-восстановительных работ.

Обоснование оптимальных объемов ландшафтно-восстановительных работ и сроков их проведения прямо влияет на экономические показатели природоохранных мероприятий, связанных с рациональным использованием земельных ресурсов, а следовательно, также в целом и на эффективность разработки месторождений. С другой стороны, объемы ландшафтно-восстановительных работ и сроки их проведения предопределяются размерами площадей нарушений земель, возникших в результате выемки пород и полезного ископаемого.

Выработанное пространство, не заполненное породами вскрыши при открытой разработке, классифицируется как остаточные горные выработки, а земли, занятые этими выработками, считаются в большинстве случаев потерями земельных ресурсов или, как правило, используются в водном хозяйстве. В целях расширения области использования земельных ресурсов и повышения эффективности природоохранных мероприятий необходимо поверхности остаточных карьерных выработок капитальной и разрезной траншей засыпать, выколачивать или террасировать для использования этих земель в сельском и лесном хозяйствах.

Для определения размеров площадей восстановлений необходимо знать следующие параметры остаточных выработок:

- глубина траншеи;
- уклон (подъем);
- угол откоса борта траншеи;
- угол откоса борта карьера (косогора);

- ширина транспортной бермы;
- длина траншеи (капитальной, разрезной);
- ширина подошвы траншеи (капитальной, разрезной);
- высота вскрываемых уступов;
- число вскрываемых уступов;
- количество вскрываемых горизонтов.

Вышеуказанные параметры будут определяться типом и рабочими параметрами технологического оборудования, которые, в свою очередь, установят производственную мощность предприятия на вскрышных, добычных и ландшафтно-восстановительных работах. С другой стороны, объемы на вскрышных, добычных и ландшафтно-восстановительных работах определяют количество и структуру комплекса технологического оборудования на этих работах, а также способы взаимодействия между собой отдельных звеньев этих структур.

Производственная мощность и величина обрабатываемых запасов предопределяют срок существования предприятия, причем срок отработки запасов необходимо устанавливать с учетом времени проведения горнотехнического этапа ландшафтно-восстановительных работ, обеспечивающего эффективное проведение биологического этапа для целенаправленного использования земель по направлениям рекультивации.

При проектировании и планировании развития горных работ главенствующим фактором является установление начального положения, направления развития и календарное распределение размеров площадей нарушений и восстановлений, а также объемов вскрышных, добычных и ландшафтно-восстановительных работ по годам за весь срок существования карьера. Таким образом, совокупность этих факторов при последовательном выполнении и распределении горных работ в рабочей зоне карьера будут являться режимом горных работ. При этом оценка эффективности открытой разработки будет производиться, прежде всего, по показателям размеров площадей нарушений и восстановлений земель, которые определяют режим горных работ как режим нарушения и восстановления земель или режим управления техногенным рельефом (РУТР).

Многообразие вышеперечисленных факторов и их взаимосвязь между собой представляют собой режим горных работ в новом аспекте – экологическом. При решении задачи рационального использования земельных ресурсов режим горных работ тесно связан с типом и количеством технологического оборудования, которые, в свою очередь, определяют главные параметры карьера (длина, ширина, глубина рабочей зоны карьера) и вскрываемых выработок, от которых

будут зависеть высоты и количество уступов (в том числе и отвальных), а также и размеры рабочих площадок, что существенным образом влияет на разнос бортов, то есть на размеры нарушаемых земель.

Отдавая главенствующую роль режиму горных работ при решении задач рационального использования земельных ресурсов необходимо устанавливать методы (или методологию) обоснований оптимальных направлений развития горных работ в зависимости от природных горно-геологических условий разработки, обеспечивающих эколого-экономическую эффективность открытых горных работ. То есть принимать такое направление развития горных работ, при котором возможно наиболее эффективно производить выемку и укладку пригодных для биологической рекультивации вскрышных пород в тело отвалов по селективной, валовой или комбинированной технологии, обеспечивающих создание отвальных горизонтов, не отличающихся от свойств первичных геологических образований с самых ранних этапов отвалообразования. При этом сокращается не только время периодов рекультивации, но и срок отработки месторождения в целом.

При этом методе определяются размеры нарушенных и восстановленных земель и объемы вскрышных, добычных и ландшафтно-восстановительных работ с одновременной классификацией свойств залежи в зависимости от угла её падения, а покрывающих пород – от их пригодности для биологической рекультивации.

Анализ режима нарушения и восстановления зе-

мель при выборе оптимального направления развития горных работ предопределяет систему разработки, обеспечивая при этом селективную, валовую или комбинированную технологию разработки и укладки вскрышных пород.

Новый аспект рационального использования земельных ресурсов в обосновании режима горных работ и закономерности влияния производственной мощности, промышленных запасов, параметров рабочей зоны карьера, срока существования карьера, параметров вскрываемых горных выработок на размеры нарушаемых восстанавливаемых площадей земель показывает, прежде всего, их экологическую значимость в современных условиях при ведении открытых горных работ. Таким образом, справедливо будет их в этом случае считать главными эколого-технологическими параметрами карьера.

#### **Библиографический список**

1. Научные основы проектирования карьеров / В.В. Ржевский, М.Г. Новожилов, Б.П. Юматов и др. М.: Недра, 1971. 600 с.
2. Мельников Н.В. Краткий справочник по открытым горным работам. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1982. 414 с.

#### **Библиографический список**

1. The scientific methods of quarry design / Rgevsky V.V., Novogitov M.G, Yumatov B.P. and others. M.: Nedra, 1971. 600 p.
2. Melnikov N.V. Concise guide to open-cast mining. The 4-th revised and supplemented edition. M.: Nedra, 1982. 414 p.

УДК 622.4

Дударь Е.С.

## **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАСЧЕТ ТЕРМОВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА ВЫРАБОТОК КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ**

**Введение.** В теплое время года при поступлении воздуха в шахтную сеть калийных рудников происходит конденсация водяного пара на стенках горных выработок. Выпадающая влага образует конденсационные рассолы, которые отрицательно воздействуют на шахтное оборудование, транспорт, дорожное покрытие, уменьшают несущую способность целиков, ухудшают условия труда, ведут к затоплению выработок [1, 2]. Эффективное регулирование термовлажностного режима в сложной пространственной постоянно изменяющейся шахтной сети предполагает использование математической модели протекающих в ней процессов тепломассообмена. Существующие в настоящее время методики расчета параметров протекающего по выработкам воздуха [3–6] направлены преимущественно на определение средних по сечению выработки значений величин. Однако для теоретического описания процесса конденсации знание профилей скорости, температуры и концентрации

водяного пара является необходимым. Профили указанных величин позволяют определить для данного сечения: коэффициенты теплоотдачи и массоотдачи с учетом всех влияющих параметров [7–9] и, прежде всего, турбулентного характера движения воздуха; моменты начала и окончания конденсации; величину потока тепла, выделяющегося при конденсации.

В настоящей работе рассмотрена постановка задачи тепломассообмена при конденсации, даны полуаналитические решения рассматриваемых уравнений, предложена методика расчета термовлажностного режима шахтной сети с использованием этих решений, приведен пример расчета параметров микроклимата рудника БКРУ–2 в г. Березники Пермского края.

**1. Постановка задачи тепломассообмена при конденсации влаги в цилиндрической полости.** В качестве элементарного исследуемого объекта (ветви) шахтной сети рассматривается цилиндрическая полость конечной длины в горных породах. Будем полагать:

- воздух, движущийся в полости, является бинарной смесью сухого воздуха и водяного пара;
- теплообмен в воздухе и его движение являются квазистационарными процессами, а распространение тепла в горных породах – нестационарным процессом;
- плотности теплового потока, потока массы и свойства парогазовой смеси слабо изменяются вдоль оси полости;
- толщина образующейся пленки конденсата настолько мала, что можно пренебречь перепадом температуры по ее толщине;
- для замыкания уравнений переноса энергии и массы используется полумпирическая теория турбулентности Прандтля.

При данных предположениях постановка задачи теплообмена при конденсации пара из парогазовой смеси, движущейся в цилиндрической полости, имеет вид [10]:

$$\rho c_p w \frac{\partial t}{\partial z} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (rq); \quad q = \rho c_p (a + \varepsilon_q) \frac{\partial t}{\partial r}; \quad (1)$$

$$\rho w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (rj); \quad j = \rho(D + \varepsilon_D) \frac{\partial C}{\partial r}; \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = A \nabla^2 T, \quad (3)$$

где  $q$  – поперечный поток тепла;  $j$  – поперечный поток массы;  $t$  – температура воздуха;  $T$  – температура горного массива;  $C$  – массовая концентрация водяного пара;  $\varepsilon_q, \varepsilon_D$  – кинематические коэффициенты турбулентной теплопроводности и диффузии соответственно;  $a, \rho, D, c_p$  – температуропроводность, плотность, коэффициент молекулярной диффузии и изобарная теплоемкость воздуха соответственно;  $A$  – температуропроводность горного массива;  $w$  – продольная компонента вектора скорости.

Для задачи теплообмена (1) граничные условия на стенке и на оси полости имеют вид:

$$t|_{r=r_w} = T_w, \quad q|_{r=0} = 0. \quad (4)$$

Уравнения массообмена (2) решаются только с момента начала конденсации ( $z = z_{cr}$ ), когда температура стенки полости становится равной температуре насыщения для данной концентрации водяных паров в воздухе. В этом случае на стенке полости задаем граничное условие для состояния насыщения водяного пара с учетом гигроскопичности горных пород [1], а на оси – нулевой поток массы.

$$C|_{r=r_w} = C_{sat}(T_w, \phi_{cr}, p), \quad j|_{r=0} = 0, \quad z \geq z_{cr}, \quad (5)$$

где  $\phi_{cr}$  – критическая относительная влажность воздуха, при которой парциальное давление водяных паров над породой достигает состояния насыщения.

Ламинарное движение жидкости в цилиндрической полости описывается уравнением Гагена-

Пуазейля [8,11], для турбулентного режима течения справедлив универсальный закон распределения скоростей в шероховатой трубе [8,11]:

$$w(r) = \sqrt{\frac{\lambda}{8}} \bar{w} \left( 5,75 \lg \left( \frac{r_w - r}{\Delta} \right) + 8,48 \right), \quad (6)$$

где  $\bar{w}$  – средняя по сечению скорость движения воздуха;  $\lambda$  – коэффициент гидравлического сопротивления;  $\Delta$  – абсолютная шероховатость стенки.

**2. Решение задачи теплообмена при конденсации влаги в цилиндрической полости.** Как видно из уравнений (1), (2) с граничными условиями (4), (5), задачи теплообмена и массообмена математически идентичны. Это позволяет распространить известное решение Лайона для задачи теплообмена [9] на задачу массообмена [12]. Согласно решению Лайона безразмерный коэффициент теплоотдачи можно определить из выражения

$$Nu^{-1} = \frac{\rho c_p a}{2 \alpha r_w} = 2 \int_0^1 I_T(R) \frac{w}{\bar{w}} R dR, \quad (7)$$

где интеграл Лайона имеет вид

$$I_T(R) = \int_R^1 \frac{\int_0^R \frac{w}{\bar{w}} R dR}{\left( 1 + \frac{\varepsilon_q(R)}{a} \right) R} dR, \quad (8)$$

$R = \frac{r}{r_w}$  – безразмерный радиус;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи.

Среднемассовая температура воздуха в данном сечении определяется через значение на входе  $\bar{t}_0$  и температуру стенки полости по формуле

$$\bar{t}(z) = \frac{\bar{t}_0 + k_T T_w(z)}{1 + k_T}, \quad k_T = \frac{2 \alpha z}{\rho c_p \bar{w} r_w}. \quad (9)$$

Температура в произвольной точке сечения полости определяется в соответствии с выражением

$$t - T_w = (\bar{t} - T_w) Nu I_T(R). \quad (10)$$

Аналогичным образом решение задачи массообмена (2,5) записывается

$$Nu_D^{-1} = \frac{\rho D}{2 \beta r_w} = 2 \int_0^1 I_D(R) \frac{w}{\bar{w}} R dR, \quad (11)$$

$$I_D(R) = \int_R^1 \frac{\int_0^R \frac{w}{\bar{w}} R dR}{\left( 1 + \frac{\varepsilon_D(R)}{D} \right) R} dR, \quad (12)$$

$$\bar{C} = \frac{\bar{C}_0 + k_D C_{sat}}{1 + k_D}, \quad k_D = \frac{2\beta z}{\rho \bar{w} r_w}, \quad (13)$$

$$C - C_{sat} = (\bar{C} - C_{sat}) Nu_D I_D(R), \quad (14)$$

где  $Nu_D$  – диффузионное число Нуссельта;  $I_D(R)$  – диффузионный интеграл Лайона;  $\bar{C}$  – среднемассовая концентрация пара;  $\beta$  – коэффициент массоотдачи.

Плотность потока конденсирующейся в пленку жидкости определяется по формуле Дальтона [4, 7]

$$j_\delta = \rho \beta (\bar{C} - C_{sat}). \quad (15)$$

Выделяющуюся при конденсации теплоту можно учесть с помощью суммарного коэффициента теплоотдачи

$$\alpha_{\bar{c}} = \alpha + \frac{\Re(T_w) j_\delta}{\bar{t} - T_w}, \quad (16)$$

где  $\Re(T_w)$  – скрытая теплота парообразования.

Значение  $\alpha_\Sigma$  входит в граничное условие конвективного теплообмена на внутренней поверхности полости в задаче теплопроводности (3) для горного массива

$$q_w = \alpha_\Sigma (\bar{t} - T_w). \quad (17)$$

Решение задачи (3) с граничным условием (17) позволяет получить недостающее уравнение, связывающее среднемассовую температуру смеси  $\bar{t}$  и температуру стенки полости  $T_w$ . Методом функций Грина в сочетании с преобразованием Лапласа его можно получить в виде [10]

$$T_w(\tau) = T_\infty + \frac{4\alpha_\Sigma A}{\pi^2 r_w \Lambda} \times \int_0^\tau e^{-a\xi^2(\tau-\eta)} [\bar{t}(\eta) - T_\infty] d\eta \times \int_0^\infty \frac{\xi d\xi}{J^2(\xi r_w) + N^2(\xi r_w)}, \quad (18)$$

где  $J(\xi r_w) = \xi J_1(\xi r_w) + \frac{\alpha_\Sigma}{\Lambda} J_0(\xi r_w)$ ;

$$N(\xi r_w) = \xi N_1(\xi r_w) + \frac{\alpha_\Sigma}{\Lambda} N_0(\xi r_w);$$

$\Lambda$  – теплопроводность горных пород;  $J_0, J_1, N_0, N_1$  – функции Бесселя и Неймана с индексом нуль и один соответственно;  $T_\infty$  – естественная температура пород.

Для решения задачи (1)–(5) необходимо рассмотреть два случая изменения температуры воздуха в полости:

- температура воздуха постоянна и равна среднегодовой  $\bar{t}(\tau) = t_y$ ;
- температура воздуха изменяется по гармониче-

скому закону  $\bar{t}(\tau) = t_y + \Delta t \sin\left(\frac{2\pi}{\tau_y} \tau\right)$ , где  $\tau_y$  –

период колебаний (год).

Для двух указанных случаев решение задачи (18) принимает вид

$$T_w(Fo) = t_y + (T_\infty - t_y) \theta_1(Fo), \quad (19)$$

$$T_w(Fo) = t_y + (T_\infty - t_y) \theta_1(Fo) + \Delta t [\theta_2 + \theta_3 \sin \varphi - \theta_4 \cos \varphi], \quad (20)$$

где

$$\left\{ \begin{aligned} \theta_1(Fo) &= \frac{4}{\pi^2 Bi} \int_0^\infty \frac{e^{-\mu^2 Fo}}{f(Bi, \mu)} d\mu; \\ \theta_2(Fo) &= \frac{8}{\pi Fo_2 Bi} \int_0^\infty \frac{e^{-\mu^2 Fo}}{\mu^2 (1 + \omega^2) f(Bi, \mu)} d\mu; \\ \theta_3 &= \frac{4}{\pi^2 Bi} \int_0^\infty \frac{d\mu}{(1 + \omega^2) f(Bi, \mu)}; \\ \theta_4 &= \frac{8}{\pi Fo_2 Bi} \int_0^\infty \frac{d\mu}{\mu^2 (1 + \omega^2) f(Bi, \mu)}; \end{aligned} \right. \quad (21)$$

$Fo = \frac{A\tau}{r_w^2}$  – число Фурье;  $Fo_y = \frac{A\tau_y}{r_w^2}$  – число Фурье,

соответствующее  $\tau_y$ ;  $Bi = \frac{\alpha_\Sigma r_w}{\Lambda}$  – число Био;

$$\varphi = 2\pi \frac{Fo}{Fo_y}; \quad \omega = \frac{2\pi}{Fo_y \mu^2}.$$

**3. Алгоритм расчета шахтной сети.** Рассмотренные выше задачи решены при условии постоянной плотности теплового потока и потока массы на межфазной границе. Поэтому цилиндрическую полость (ветвь) разбивали на конечное число отрезков, на каждом из которых потоки тепла и массы можно считать постоянными величинами. В результате исходная система дифференциальных уравнений (1)–(3) свелась к системе нелинейных алгебраических уравнений, которая решалась методом простой итерации [10]. Интегралы в формулах (7), (8), (11), (12), (21) вычислялись численно с помощью квадратурной формулы Гаусса.

Среднюю скорость воздуха  $\bar{w}$  в полости и коэффициент гидравлического сопротивления  $\lambda$  (см. (6)), а также изменение давления  $\Delta p$  вдоль полости можно найти, применяя какой-либо метод расчета распределения воздуха в шахтной сети. В качестве такого метода был выбран метод конечных элементов (МКЭ) [13, 14], так как он позволяет достаточно просто учитывать: режим течения воздуха, естественную тягу, переменные свойства воздуха, сложную топологию сети, наличие местных сопротивлений [15] и вентиляторов [16]. Аналогия процессов движения жидкости в гидравлической сети и деформирования стержневой конструкции позволяет распространить доказательство сходимости



метода упругих решений [17] на задачу движения воздуха в шахтной сети. Гарантированная сходимость метода также является важным преимуществом МКЭ.

Расчет тепломассообмена при конденсации для всей шахтной сети осуществлялся последовательно: результаты расчета предыдущей ветви являлись исходными для последующей ветви. В случае слияния нескольких потоков параметры смеси определялись в соответствии с законом сохранения массы и уравнением Менделеева-Клапперона. Для первой ветви шахтной сети (ствола рудника) значение среднemasсовой температуры парогазовой смеси на входе равно температуре атмосферного воздуха для данной местности

$$t_a(\tau) = t_{ay} + \Delta t_a \sin\left(\frac{2\pi}{\tau_y} \tau\right), \quad (22)$$

где  $t_{ay}$  – среднегодовая температура воздуха;  $\Delta t_a$  – амплитуда годового колебания температуры воздуха. Сначала расчет производился для среднегодовых значений температуры воздуха с учетом возраста каждой выработки, а затем параметры сети рассчитывались для полугодового колебания температуры.

Естественная температура горного массива  $T_\infty$  определялась из решения задачи о распространении в полупространстве тепловых волн от солнечной радиации [9] с учетом теплового потока, идущего из недр Земли.

**4. Результаты расчета.** Разработанная математическая модель была применена для расчета параметров микроклимата рудника БКРУ-2 в г. Березники Пермского края.

Для выполнения расчетов сеть была разбита на 288 элементов и содержала 219 узлов. Каждая ветвь сети разбивалась на участки длиной от 50 до 250 м, на которых свойства парогазовой смеси не изменялись. Каждый участок «постоянных свойств» разбивался на отрезки длиной 5–10 м, для которых постоянными величинами считались плотности потоков тепла и массы на межфазной границе «воздух–жидкость». Разбиение по

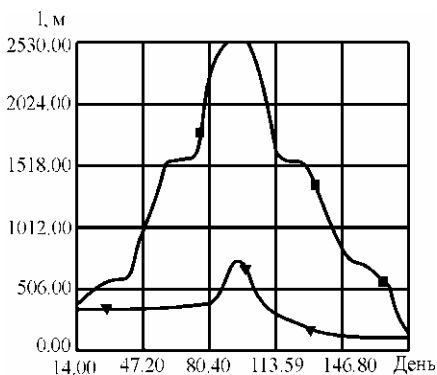
радиусу полости выполнялось со сгущением к стенке по геометрической прогрессии со знаменателем 0,8. Рассматривался только теплый период года, который состоял из 728 интервалов длительностью 6 ч.

Расчет производился при атмосферном давлении воздуха 101,3 кПа, графики изменения среднесуточных температуры и упругости водяных паров наружного воздуха составлены по данным СНиП 2.01.01-82 «Строительная климатология». Среднегодовое значение температуры атмосферного воздуха составила 0,7°C, амплитуда колебаний 16,8°C, за начало периода принято 15 апреля. Расчет сети с точностью 0,5% по узловым давлениям требовал примерно 12 итераций на одном шаге по времени.

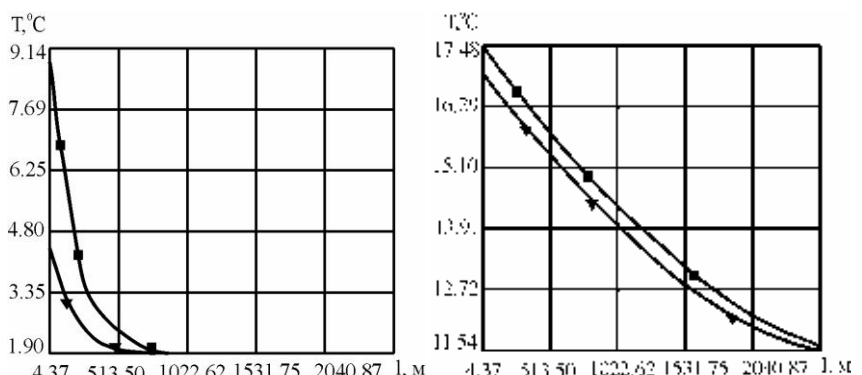
Проведенные расчеты позволили выявить закономерности формирования зоны выпадения влаги. Как показано на рис. 1, зона конденсации увеличивается к середине теплого периода года практически до 2000 м, к концу периода она уменьшается. Точка начала конденсации находится на расстоянии 350 м от начала вентиляционного пути в начале мая месяца, к середине летнего периода она смещается на расстояние 750 м. Таким образом, процесс конденсации в течении всего теплого периода начинается в выработках околоствольного двора.

Точка конца конденсации перемещается с отметки 400–450 м в первой декаде мая на расстояние 2550 м от начала вентиляционного пути ко второй декаде июля. С третьей декады мая до середины июня происходит резкое увеличение зоны конденсации от 200 до 1800 м. Температура и влагосодержание поступающего в рудник воздуха возрастают и, следовательно, тепломассообмен происходит на более длинном участке вентиляционного пути.

Изменение параметров микроклимата по длине вентиляционного пути в фиксированные моменты времени детально показывают развитие процесса конденсации. На рис. 2 показаны графики изменения среднemasсовой температуры воздуха и температуры стенки горного массива по длине пути (ветви 1–5–6–24–25) на 30 и 90 сутки.



**Рис. 1.** Точки начала и конца конденсации в зависимости от времени при критической влажности 77% (ветви 2–4–8–911):  
▼ – начало конденсации;  
■ – конец конденсации



**Рис. 2.** Изменение среднemasсовой температуры смеси и температуры стенки по длине пути (ветви 1–5–6–24–25):  
■ – среднemasсовая смеси; ▼ – стенки;  
а – на 30 суток от начала периода (15 мая);  
б – на 90 суток от начала периода (14 июля)



При сравнении двух графиков хорошо видно, что в середине мая в воздухоподающем стволе рудника происходит резкое падение температуры поступающего воздуха. Из рис. 2, а видно, что температура снижается с 9 до 2°С практически на первых 500 м.

С течением времени происходит нагрев стенки породного массива: если 15 мая температура стенки на входе в рудник равна 4,8°С, то к середине июля она возрастает до 17,1°С (рис. 2, б). Температура воздуха в середине июля снижается по длине пути намного медленнее, поэтому выравнивание среднemasовой температуры смеси и температуры стенки, ведущее к затуханию процесса конденсации, происходит только после 2000 м.

Интенсивность процесса конденсации влаги прежде всего зависит от перепада температур между стенкой выработки и протекающего в ней воздуха. Наибольший перепад температур характерен для начала теплого периода, когда прогретый атмосферный воздух соприкасается с поверхностью выработки, охлажденной за зимний период до 2°С. Однако как видно из результатов численного эксперимента и показывают шахтные наблюдения, наибольшее количество влаги выпадает в середине июля. Это объясняется тем, что для теплого воздуха характерно более высокое влагосодержание.

Применение математической модели для расчета процесса конденсации влаги в руднике БКРУ-2 позволило подтвердить локальный характер явления конденсации, которая происходит в радиусе 2–2,5 км от околоствольного двора. Установлен эффект «растяжения» зоны конденсации, длина которой колеблется от 50–100 м в начале мая и увеличивается до 1780 м к середине теплого периода. В целом при незначительной средней интенсивности конденсации  $j=1,7 \cdot 10^{-4}$  кг/(м<sup>2</sup>·с) общее количество выпавшего в теплый период года конденсата составило 6050 т, что подтверждается данными натурных наблюдений [10]. Такое большое скопление количества влаги в выработках объясняется значительными площадями обнажения массива и гигроскопичностью горных пород.

#### Список литературы

1. Медведев И.И., Красноштейн А.Е. Аэрология калийных рудников. Свердловск: УрО АН СССР, 1990.
2. Мохирев Н.Н., Казаков Б.П., Стукалов В.А. Испытание системы осушения воздуха в руднике АО «Уралкалий» // Горный журнал. 1998. № 6.
3. Щербань А.Н., Кремнев О.А. Научные основы расчета и регулирования теплового режима глубоких шахт. Киев: Изд-во АН УССР, 1959. Т. 1.
4. Дядькин Ю.Д., Шувалов Ю.В., Гендлер С.Г. Тепловые процессы в горных выработках. Л.: Изд-во ЛГИ, 1978.
5. Красноштейн А.Е., Казаков Б.П., Шалимов А.В. К моделированию сложных аэрогазотермодинамических процессов в атмосфере рудников // ФТПРПИ. 2008. № 6.
6. Красноштейн А.Е., Казаков Б.П., Шалимов А.В. Моделирование процессов нестационарного теплообмена между рудничным воздухом и массивом горных пород // ФТПРПИ. 2007. № 5.
7. Исаченко В.П. Теплообмен при конденсации. М.: Энергия, 1977.
8. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1987.
9. Теория теплообмена / Исаев С.И. и др. М.: Высш. шк., 1979.

10. Дударь Е.С., Мохирев Н.Н. Конденсация влаги при турбулентном движении паровоздушной смеси в вентиляционной сети калийного рудника // Аннотации докладов УШ Всероссийского съезда по теоретической и прикладной механике. Пермь, 2001.
11. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974.
12. Дударь Е.С., Дударь О.И. Использование интеграла Лайона для решения задачи конденсации влаги из турбулентного потока бинарной смеси // Строительство и образование: сборник. Екатеринбург, 2005. № 14.
13. Норри Д., Ж. де Фриз. Введение в метод конечных элементов. М.: Мир, 1981.
14. Дударь Е.С. Применение метода конечных элементов для расчета потокораспределения в гидравлической сети произвольной сложности // Строительство и образование: сборник. Екатеринбург, 2000. № 3.
15. Дударь Е.С., Дударь О.И. Учет местных сопротивлений крестовин при слиянии – разделении потоков // Строительство и образование: сборник. Екатеринбург, 2002. № 5.
16. Дударь Е.С., Дударь О.И. Учет вентиляторов при расчете гидравлической сети методом конечных элементов // Строительство и образование: сборник. Екатеринбург, 2003. № 6/2.
17. Победья Б.Е., Шешенин С.В. О методах упругих решений // Механика твердого тела. 1987. № 5.

#### List of literature

1. Medvedev, I.I., Krasnoshtein, A.E. Potash Mine Aerology. Sverdlovsk: Ural Branch Academy of Science USSR, 1990.
2. Mohirev, N.N., Kazakov, B.P., Stukalov, V.A., Testing of humidifying system in the JSC Uralkaly mine // Mining Magazine. 1998, No. 6.
3. Sherban, A.N., Kremnev, O.A. The scientific basis of calculation and regulation of heat conditions of deep mines. Kiev: Academy of Science Publishing House, 1959.
4. Dyadkin, Y.D., Shuvalov, Y.V., Gendler, S.G. Heat Processes in mine workings. Leningrad: LGI Publ. House, 1978.
5. Krasnoshtein, A.E., Kazakov, B.P., Shalimov, A.V. Modeling of complex air-gas-heat dynamic processes in mining atmosphere // J. of Mining Sci. 2008. No. 6.
6. Krasnoshtein, A.E., Kazakov, B.P., Shalimov, A.V. Modeling of unstable heat transfer processes between the mine air and the rock body // J. of Mining Sci. 2007. No. 5.
7. Isachenko, V.P. Heat transfer under condensation. M.: Energiya, 1977.
8. Loitsyansky, L.G. Mechanics of liquids and gases. M.: Nauka, 1987.
9. Isaev, S.I. Heat and mass transfer theory. M.: Vysshaya shkola, 1979.
10. Dudar, E.S., Mochirev, N.N. Humidity condensation under turbulent move of steam-air mixture in potash mine ventilation network // Theoretical and Applied Mechanics: 8-th Russ. Congress Perm, 2001.
11. Schlikhting, H. Grenzschicht Theory. Verlag G. Braun. Karlsruhe, 1965.
12. Dudar, E.S. Dudar, O.I. Application of Lion's integral in the problem of humidity condensation out of turbulent binary mixture flow // Building and Education: Digest of Sci. Reports. Ekaterinburg, 2005. No. 14.
13. Norry, D., J. de Friz, Introduction into finite element method. M.: Mir, 1981.
14. Dudar, E.S. The application of finite element method in calculations of the flow distribution for arbitrary hydraulic network // Building and Education: Digest of Sci Reports. Ekaterinburg, 2000. No. 3.
15. Dudar, E.S., Dudar, O.I. The account of local resistance cross-piece under confluence-division streams // Building and Education: Digest of Sci. Reports. Ekaterinburg, 2002. No. 5.
16. Dudar, E.S., Dudar, O.I. The account of ventilators under calculation of hydraulic network with finite element method // Building and Education: Digest of Sci. Reports. Ekaterinburg, 2003. No. 6/2.
17. Pobedrya, B.E. Sheshenin, S.V. About elastic solutions methods // Mechanics of Solids, 1987. No. 5.

# МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

УДК 669.14.018.258

Колокольцев В.М., Иванова И.В.

## ЛИТЕЙНАЯ СТАЛЬ ДЛЯ ШТАМПОВ ГОРЯЧЕГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Повышение стойкости литой штамповой оснастки в отраслях металлообрабатывающей промышленности до сих пор является актуальной задачей.

В свою очередь, внедрение литых инструментальных сталей сдерживается следующими основными причинами: недостаточным объемом данных о свойствах литого материала по сравнению с деформированным и несовершенством технологических процессов изготовления литых штампов (состав литейной стали, технология литейной формы, режим термообработки и др.).

Современные литейные технологии позволяют получать у литейной стали такие свойства, которые характерны для деформируемой: модифицирование наночастицами, формирование микроструктуры с элементами наноструктуры, применение износостойких диффузионных покрытий, применение терморезистивных формовочных смесей, использование керамических форм, технологического процесса для изготовления штампов с готовой гравюрой методом точного литья в разовые формы и др.

Одним из основных направлений повышения стойкости штампового инструмента является применение и разработка новых высокопрочных и теплоустойчивых марок стали, обладающих требуемым высоким комплексом механических свойств.

Штамповые стали для горячего деформирования предназначены для изготовления инструментов (штампов), работающих при повышенных температурах, многократных теплосменах, динамических нагрузках. Говоря о повышении стойкости штамповой оснастки следует отметить, что стали для ее изготовления должны обладать высокой теплоустойчивостью, твердостью, высоким сопротивлением износу, устойчивостью к разгару [1].

В связи с этим, экспериментальные работы, проведенные на кафедре электрометаллургии и литейного производства в МГТУ им. Г.И. Носова заключались в исследовании влияния легирования на структуру и свойства литой инструментальной стали, оптимизации химического состава с целью получения требуемых свойств и стойкости штампа в рабочих условиях.

На первом этапе работы был проведен литературно-патентный обзор с целью разработки базового состава стали для штампов горячего деформирования.

На основании изученных источников были отобраны основные типы инструментальных сталей (в количестве 69 штук), отвечающих требуемым механическим свойствам – полутеплостойкие стали повышенной вязкости и высокой прокаливаемости; в эту группу входят хромони-

келевые и хромомарганцовистые стали. Анализ химического состава показал, что в основном средние значения элементов укладываются в известные марки 5XHM, 5XHB, 4X3M 3X2H2BMФ и т.п. Было установлено, что для успешной работы инструмента свойства и структура стали должны быть следующими:

- высокая твердость (HRC 36–60 ед.);
- средняя или высокая теплоустойчивость ( $t_{(HRC-58)} - 500-600^\circ\text{C}$ );
- умеренные или высокие показатели ударной вязкости (полутеплостойкие  $KCU_{ДЖ/мм^2} - 12-72$ );
- микроструктура (M+K, M+A<sub>ост</sub>+K, мелкозернистость структуры с баллом зерна не более 6);

Для выбора нового базового состава были проанализированы следующие интервалы концентраций химических элементов в сталях, %: C=0,02–1,60; Si=0,07–0,70; Mn=0,28–23,9; Cr=0,45–13,25; V=0,07–4,05; Mo=0,11–7,2; Ni=0,28–3,25; W=0,28–1,35.

Получены следующие адекватные зависимости, описывающие взаимосвязь химического состава и свойства:

$$KCU_{ДЖ/мм^2} = 301,73 - 119,8 C + 7,153 Ni - 10,23 V - 45,22 Si + 67,69 (C)^2 - 0,391 (Ni)^2 + 15,74 (Si)^2; \quad (1)$$

$$t_{(HRC-58)} = 1791,6 + 13,77 Ni + 229,7 Mn + 162,6 V - 14,88 (Ni)^2 - 167,8 (Mn)^2 - 62,78 (V)^2; \quad (2)$$

$$HRC = 156,7 - 12,75 Ni + 8,009 Cr + 48,46 C + 14,29 V + 3,592 (Ni)^2 - 19,06 (C)^2 - 2,661 (V)^2. \quad (3)$$

Данные зависимости позволили определить ряды влияния элементов на исследуемые свойства (от элемента с большей степенью влияния к элементу с меньшей).

KCU: Ni → V → C → Si;

HRC: C → V → Cr → Ni;

$t_{(HRC-58)}$ : V → Ni → Mn.

Результаты анализа показали, что углерод в интервале 0,50–1,25% понижает ударную вязкость. Высокие значения наблюдаются при содержании углерода в интервале 0,25–0,50% и 1,25–1,50%. При содержании углерода 1,0–1,25% – повышенная твердость, но для обеспечения высоких значений теплоустойчивости углерод в основном

находится в пределах 0,08–0,25%. При увеличении его содержания в стали ускоряются процессы коагуляции карбидных фаз и перераспределение легирующих элементов между твердым раствором и карбидами. Однако для обеспечения высокой твердости содержание углерода должно быть выше 0,25%. Как показал анализ, с увеличением хрома твердость увеличивается.

При содержании никеля в интервале от 1,0–2,5% твердость минимальна, но при содержании более 3% она заметно увеличивается. Не стоит забывать и тот момент, что с целью обеспечения высокой теплостойкости рекомендуемое содержание никеля – до 1,0%. Что касается ударной вязкости, то из анализа было видно, что с увеличением содержания никеля она возрастает во всем рассматриваемом интервале.

Для обеспечения высокой теплостойкости рекомендуемое содержание марганца составляет 0,45–1,0%.

Кремний в интервале до 0,7% обеспечивает умеренные показатели ударной вязкости.

При легировании стали ванадием в интервале от 0,75–1,90% теплостойкость имеет максимальное значение. Высокая твердость сталей наблюдается при содержании ванадия в интервале 1,0–1,75%, но при этом падает ударная вязкость.

Определившись с рациональными пределами изменения элементов, был спланирован и проведен полный факторный эксперимент типа 2<sup>3</sup> при следующем изменении факторов: С (0,4%; 1,00%), Cr (3,0%; 6,0%) и Ni (0,50%; 1,50%). Кремний и марганец находились на постоянном уровне: Si=0,5% и Mn=0,5%.

Экспериментальные образцы заливали в песчано-глинистые формы (сырую и сухую) и кокиль. Твердость по Роквеллу (HRC, ед.) определяли в соответствии с ГОСТ 9012-59; абразивную износостойкость (Ки, ед.) – в соответствии с ГОСТ 23.208-79; ударно-абразивную износостойкость (Ки.уд.) – ГОСТ 23.207-79. Наиболее высокие механические свойства (Ки, ед.: 1,80; 1,70; 1,90; HRC, ед.: 48,00; 47,00; 50,00 для песчано-глинистых сухой и сырой формы и кокиля соответственно) были получены при следующем содержании химических элементов: 0,4% С, 0,5% Si, 0,5% Mn, 0,5% Ni, 6,0% Cr. Этот комплекс был принят за базовый для разработки литейной штамповой стали.

Полученные механические свойства не удовлетво-

ряют требованиям для инструментальных сталей (HRC 36–60 ед., Ки не менее 3 ед.). Поэтому на втором этапе изучали влияние дополнительного легирования базового состава литейной стали для штампов горячего деформирования с целью улучшения механических, специальных и эксплуатационных свойств вольфрамом (3,0–4,3%), молибденом (0,7–1,0%), ванадием (0,5–1,0%).

Экспериментальные образцы заливали в песчано-глинистые формы (сырую и сухую) и кокиль. Механические свойства экспериментальных сплавов представлены в табл. 1.

Коэффициент твердости, по которому оценивали интенсивность изнашивания,  $K_{тв} < 0,5$  говорит о том, что разрушение поверхности образцов происходило вследствие прямого внедрения абразивной частицы в поверхность и продвижения по ней. Рельеф поверхности разрушения представлял собой продольные риски различной длины и глубины по ходу движения абразивной частицы.

Известно, что влияние некоторых легирующих элементов, повышающих износостойкость, можно выразить следующим соотношением [2]:

$$Cr : W : Mo : V = 2 : 5 : 10 : 40.$$

Анализируя полученные механические свойства, видно, что сплав % мас.: C=0,40; Mn=0,50; Si=0,5; Ni=0,50; Cr=6,0; W=3,0; Mo=1,0; V=0,5 (сплав 7) имеет наибольшую твердость, но при этом незначительно высокий коэффициент абразивной и ударно-абразивной износостойкостей.

Оптимальные механические свойства получены у сплава следующего состава, % мас.: C=0,40; Mn=0,50; Si=0,5; Ni=0,50; Cr=6,0; W=4,3; Mo=1,0; V=1,0 (сплав 4).

Формируемая при данном химическом составе микроструктура до термической обработки (см. рисунок) максимально приближена к структуре деформированного материала – отличается высокой дисперсностью и однородным распределением упрочняющей карбидной фазы.

Помимо легирующих элементов на первичную литую структуру исследуемых сплавов существенное влияние оказывает скорость охлаждения их в форме. Полученные свойства и структура опытных образцов, залитых в песчано-глинистые формы и кокиль, различны. При заливке в металлическую форму образуется более мелкодисперсная структура. При этом увеличивается область мелких разориентированных кристаллов, измельчаются карбиды, что положительно влияет на твердость и износостойкость.

Снижение скорости охлаждения сплава приводит к получению крупнозернистой структуры. При этом увеличивается размер дендритов первичного аустенита и укрупняются карбиды, что приводит к понижению исследуемых механических свойств.

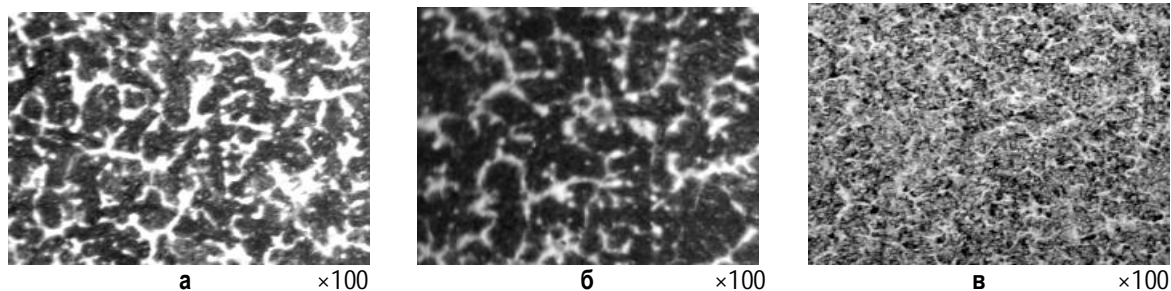
При анализе микроструктуры экспериментальных сплавов величину зерна определяли в соответствии с ГОСТ 5639-82. Мелкозернистая структура (с баллом зерна равным 7) была получена при заливке в кокиль сплава следующего состава, мас. %: C=0,40; Mn=0,50; Si=0,5; Ni=0,50; Cr=6,0; W=4,3; Mo=1,0; V=1,0.

Таблица 1

**Механические свойства экспериментальных сплавов**

Номер сплава	ПГФ сухая			ПГФ сырая			Кокиль		
	HRC	Ки	Ки.уд	HRC	Ки	Ки.уд	HRC	Ки	Ки.уд
1	46,70	3,06	4,62	47,80	3,40	3,46	58,50	3,60	4,83
2	48,20	2,97	5,55	50,70	3,45	8,85	60,30	4,40	9,23
3	48,30	2,90	3,61	49,20	3,70	3,56	60,00	4,00	5,90
4	60,5	5,34	6,36	62,30	5,78	6,80	63,30	7,73	9,63
5	56,00	2,80	3,73	59,80	3,50	3,86	61,60	3,70	4,42
6	58,80	3,57	3,84	61,30	3,70	5,16	64,00	3,76	5,44
7	61,80	3,62	5,67	63,70	3,70	5,86	64,20	3,93	6,87
8	51,50	3,47	4,88	53,00	3,30	6,43	58,00	4,20	9,97





Микроструктура экспериментальной стали состава, мас. %:  
 С=0,40; Mn=0,50; Si=0,5; Ni=0,50; Cr=6,0; W=4,3; Mo=1,0; V=1,0, залитой в ПГФ сырую (а); ПГФ сухую (б); кокиль (в)

Металловедческие исследования проводились на дилатометре DIL 402 С на специально подготовленных образцах цилиндрической формы диаметром не более 10 мм, в длину не более 25 мм с поверхностями, имеющими минимально деформированный слой (без пористости, усадочных раковин и т. п.).

По полученным кривым, показывающим изменения длины образцов из экспериментальных сплавов при нагреве и охлаждении, были определены критические точки (табл. 2) и области фазовых превращений. Вследствие теплового гистерезиса превращения при нагреве и охлаждении проходили при разных температурах.

Получению оптимальных свойств сплавов способствует применение термической обработки. Для улучшения структуры литейных сталей для штампов горячего деформирования в последнее время разрабатываются различные виды обработки, основанные на циклических тепловых воздействиях, получивших название термоциклических. Применение ТЦО дает возможность получения мелкозернистого мартенсита. Различают маятниковую, среднетемпературную, высокотемпературную и низкотемпературные термоциклические обработки.

Для сплава оптимального состава (% мас.: С=0,40; Mn=0,50; Si=0,5; Ni=0,50; Cr=6,0; W=4,3; Mo=1,0; V=1,0) была проведена предварительная термообработка (с целью измельчения зерна) с последующей закалкой. В качестве предварительной термообработки проводился термоциклический отжиг при температуре выше на 30–50°С критической точки Ас<sub>3</sub>, с выдержкой и с последующим охлаждением до температуры Т<sub>2</sub>. За температуру Т<sub>2</sub> принимали среднюю температуру межкритического интервала. После выдержки цикл повторялся снова. После проведенной закалки (в качестве закалочной среды использовали масло) проводили двукратный отпуск.

При проведении данного вида обработки механические свойства снизились порядка 30%. Причем неправильный выбор закалочной среды привел к тому, что на экспериментальных образцах образовалась сетка термических трещин. Поэтому необходимо определиться с температурой Т<sub>2</sub> экспериментальным путем, каждый раз меняя температуру в межкритическом интервале.

Для сравнения проведение традиционной термообработки: закалка (масло)+2-кратный отпуск привела к тому, что твердость экспериментального образца с 61–63 ед. понизилась до 48–51.

Таким образом, проведенные исследования по

Таблица 2

### Критические точки Ас<sub>1</sub> и Ас<sub>3</sub> (Аг<sub>1</sub> и Аг<sub>3</sub>) экспериментальных сплавов, °С

Исследуемые сплавы	Ас <sub>1</sub>	Ас <sub>3</sub>	Аг <sub>1</sub>	Аг <sub>3</sub>
1	850	937,5	761,6	967,2
2	792	910	795,2	932,3
3	760	925	776,3	961,8
4	792,3	927,3	794	940
5	789	930	778	937
6	712,5	907,6	730	925
7	710	835	Не получено экспериментальных данных*	
8	750	912,7	Не получено экспериментальных данных*	

\* Данные не были получены вследствие образования большого слоя окалины при нагреве образца.

влиянию легирования на структуру и свойства литейной инструментальной стали позволили определить рациональный химический состав для штамповой стали горячего деформирования. Выбранный новый состав литейной стали для штампов горячего деформирования 4Х6В4МФЛ (состав в сред. мас., %: С=0,4; Mn=0,50; Si=0,5; Ni=0,50; Cr=6,0; W=4,3; V=1,0; Mo=1,0) обеспечивает получение требуемых высоких механических свойств. Структура литой экспериментальной стали максимально приближена к структуре деформируемого металла (мелкозернистость с баллом более 6). В ходе исследований установлена тенденция зависимости изменения структуры и механических свойств сплавов от типа используемой формы.

### Список литературы

1. Гольдштейн М.И., Грачев С.В., Векслер Ю.Г. Специальные стали. М.: Металлургия, 1985. 408 с.
2. Позняк Л.А., Скрынченко Ю.М., Тишаев С.И. Штамповые стали. М.: Металлургия, 1980. 244 с.

### List of literature

1. Goldshtein M.I., Grachov S.V., Veksler Y.G. Special steels. M.: Metallurgy, 1985. 408 p.
2. Pozniak L.A., Skrynchenko Y.M., Teeshaev S.I. Die Steel. M.: Metallurgy, 1980. 244 p.

Панычев А.А., Никонова А.П.

## ПАРАМЕТРЫ АГЛОМЕРАЦИИ МИХАЙЛОВСКИХ И ЛЕБЕДИНСКИХ КОНЦЕНТРАТОВ

Агломерационная фабрика ОАО "Уральская Сталь" работает на шихте, железосодержащей частью которой в основном являются михайловские и лебединские концентраты.

Химический состав сырья приведен в табл. 1.

Спекание подготовленной шихты является основным этапом в технологии получения высококачественного агломерата. Спекание шихты ведется на колосниковой решетке агломерационной машины при просасывании воздуха за счет развития высоких температур при горении углерода в слое шихты и рекуперации тепла верхних слоев агломерата. В зоне горения топлива развивается температура до 1450–1500°C, при которой происходит плавление и образование жидкой фазы.

Тщательная подготовка шихты должна обеспечить постоянство работы агломерационной машины с возможно более постоянной скоростью и с неизменной высотой слоя шихты.

Скорость движения спекательных тележек регулируется в зависимости от вертикальной скорости спекания с таким расчетом, чтобы процесс спекания закончился на предпоследней вакуум-камере коллектора.

На уменьшение вертикальной скорости спекания оказывают влияние следующие основные факторы: отклонения от нормальной массовой доли топлива и влаги в аглошихте; отклонения от нормальной температуры зажигания шихты; уменьшение массы возврата и ухудшение его качества; увеличение массовой доли мелких фракций в шихте; уменьшение массы извести в шихте; чрезмерное уплотнение шихты при загрузке на спекательные тележки; наличие вредных прососов на спекательных тележках в торцевых и продольных уплотнениях и газовом тракте; ухудшение условий смешивания и окомкования шихты.

Законченность процесса спекания определяется по показаниям контрольно-измерительных приборов и наблюдениями за ходом процесса спекания и излома «пирога» агломерата в хвостовой части агломашин. На основании этих наблюдений устанавливают необходимую скорость движения спекательных тележек с тем условием, чтобы процесс спекания закончился над 14 вакуум-камерой.

При нормальном ходе процесса спекания готовый агломерат в изломе при ходе со спекательных тележек должен быть равномерно оплавленным по всей высоте и ширине «пирога». В «пироге» должны отсутствовать гнезда неиспеченной шихты. Раскаленный слой «пирога» у колосников спекательных тележек не должен превышать 1/3 высоты.

Законченность процесса спекания по контрольно-измерительным прибо-

рам определяется по температуре отходящих продуктов горения в последних вакуум-камерах. При нормальном окончании процесса спекания в 14 вакуум-камере достигается максимальная температура продуктов горения 250–300°C.

Совокупное рассмотрение изменения разрежения и температуры под колосниковой решеткой дает полное представление о ходе процесса спекания агломерационной шихты.

Температура отходящих газов в каждом конкретном случае может быть различной и определяться рядом факторов (составом шихты, высотой слоя и величиной вредных прососов). В первых вакуум-камерах температура обычно 50–120°C, в предпоследней она достигает максимума – 250–300°C, а в последней вакуум-камере на 30–70°C ниже, чем в предпоследней.

Понижение температуры в предпоследней вакуум-камере по сравнению с температурой в предыдущих камерах указывает на более раннее окончание процесса и необходимость в связи с этим увеличить высоту слоя шихты или скорость аглоленты.

Более высокая температура в последней вакуум-камере по сравнению с температурой в предпоследней камере указывает на слишком высокую скорость агломашин, при которой процесс спекания не успевает заканчиваться на предпоследней вакуум-камере.

Повышение температуры газов от установившегося предела происходит при: замедлении скорости движения или кратковременных остановках агломерационной машины; улучшении газопроницаемости шихты; недогрузе спекательных тележек шихтой.

Понижение температуры газов от установившегося предела связано со снижением вертикальной скорости спекания (ухудшение газопроницаемости слоя шихты) и происходит при: уменьшении или значительном превышении массового расхода топлива в шихте в сравнении с оптимальным; недоувлажнении и переувлажнении шихты; переоплавлении поверхности слоя из-за высокой температуры зажигания; наличии большого количества вредных прососов; завышении скорости движения спекательных тележек; пере-

Таблица 1

Химический состав спекаемого железорудного сырья ОАО "Урал Сталь"

Наименование сырья	Содержание, %									
	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CO <sub>2</sub>
Михайловский концентрат	25	65,5	0,071	8,4	0,21	0,46	0,57	0,09	0,051	–
Лебединский концентрат	0,61	66,41	0,01	11,78	0,15	0,25	0,60	0,163	0,023	–



уплотнении шихты.

Температура отходящих газов в коллекторе и перед эксгаустером устанавливается в пределах 100–140°C. Температура отходящих газов перед эксгаустером должна быть не ниже 100°C, что исключает конденсацию влаги и предотвращает забивание газоочистки и эксгаустера грязью.

О количестве и скорости просасывания воздуха, определяющих вертикальную скорость спекания, судят по величине разрежения под колосниковой решеткой агломерационной машины, создаваемого эксгаустером.

Для каждого конкретного случая величина оптимального разрежения различна и выбирается с учетом экономических соображений, обеспечивающих минимальную себестоимость агломерата при максимальной производительности агломерационных машин.

При спекании тонких шихт разрежение под колосниковой решеткой обычно составляет не менее 4 000–12 000 Па (400–1200 кгс/м<sup>2</sup>), а при спекании крупнозернистых шихт оно будет меньше.

При нормальных условиях работы разрежение в вакуум-камерах (4–10) поддерживается в пределах 8000–12000 Па (800–1200 кгс/м<sup>2</sup>). В последних вакуум-камерах разрежение получается пониженным в связи с повышением газопроницаемости в спекаемом слое и составляет обычно в предпоследней вакуум-камере 0,9, а в последней камере 0,8 от нормального (4–10 в/к).

Величина разрежения в вакуум-камерах зависит от сопротивления слоя шихты, параметров эксгаустера и состояния газового тракта. Пониженное, в сравнении с обычным, разрежение в вакуум-камерах и перед эксгаустером указывает на повышение газопроницаемости шихты или на увеличение количества вредных прососов. Повышенное разрежение указывает на ухудшение газопроницаемости слоя (избыток углерода или сильное оплавление при зажигании верхнего слоя шихты и т.д.). Постоянное в течение длительного периода времени падение разрежения является показателем износа лопаток эксгаустера или увеличения вредных прососов.

Для получения максимальной производительности от агломерационной машины нужно использовать полную мощность эксгаустера, для чего необходимо: работать при полностью открытой задвижке эксгаустера; иметь оптимально подготовленную шихту с минимальными колебаниями физико-химических свойств; тщательно следить за состоянием колосниковой решетки; следить за исправностью (уплотнением) газоотводящей системы с целью снижения вредных прососов.

Для ликвидации вредных прососов необходимо при каждом плановом ремонте производить ревизию и ремонт всего газоотводящего тракта, не допускать работы агломашин с неработающими бортовыми и торцевыми уплотнениями.

Практика ведения хода агломашин позволяет устанавливать параметры и получить количественные и качественные показатели, приведенные в табл. 2, 3.

Таблица 2

**Технологические показатели и удельные расходы агломерации шихты из смеси михайловских и лебединских концентратов**

Показатели	Единица измерения	Год	
		2005	2006
Удельная производительность	т/(м <sup>2</sup> ч)	1,119	1,127
Высота слоя шихты	мм	263	283
Насыпной вес шихты	т/м <sup>3</sup>	1,93	1,92
Температура шихты	°С	46	50
Содержание углерода в шихте	%	3,98	4,13
Содержание влаги в шихте	%	6,99	6,97
Температура зажигания шихты	°С	1226	1228
Вертикальная скорость спекания	мм/мин	18,0	19,3
Расход газа:	природного	6,2	6,1
	доменного	17,1	17,0
Теплотворная способность газовой смеси	ккал/м <sup>3</sup>	2864	2846
Расход колошниковой пыли	кг/т	27	23,3
Расход твердого топлива	кг/т	42,8	47,5
Расход извести	кг/т	29,5	29,9

Таблица 3

**Качественные показатели агломерата из смеси михайловских и лебединских концентратов**

Показатели	Единица измерения	Год	
		2005	2006
Укладка Fe в пределы ±0,5	%	91,7	90,5
Укладка основности в пределы ±0,05	%	85,6	82,6
Зерновой состав агломерата:	%		
	+40 мм	6,4	4,8
	40–25 мм	11,1	12,3
	25–10 мм	34,4	33,1
	10–5 мм	31,1	32,8
5–0 мм	17,0	17,0	
Механическая прочность агломерата:	%		
	на удар	68,4	67,9
на истирание		4,9	5,1
Содержание класса 0–3 мм в:	%		
	коксике	90,3	90,3
известняке		94,5	94,6
Уровень технологии	%	94,76	94,2
Химический состав агломерата:	%		
	Fe	53,7	52,8
	FeO	11,9	11,8
	SiO <sub>2</sub>	8,9	9,3
	CaO	12,4	13,3
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,4	1,1
	MgO	1,6	1,5
	S	0,033	0,037
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,065	0,062
	CaO/SiO <sub>2</sub>	1,36	1,45
TiO <sub>2</sub>	0,11	0,06	

При установившемся режиме агломерационного процесса продолжительность процесса спекания ( $\tau$ ), высота слоя шихты ( $h$ ) и вертикальная скорость спекания ( $v$ ) связаны между собой соотношением  $\tau=h/v$ . Кроме того, продолжительность процесса спекания ( $\tau$ ) регулируется скоростью движения аглоленты ( $n$ ), зависит от её длины зоны спекания ( $s$ ). Они связаны математической зависимостью  $\tau=s/n$ .

Отсюда выводятся три зависимости для практического применения:

$$v = \frac{h n}{s}; \quad (1)$$

$$n = \frac{s v}{h}; \quad (2)$$

$$h = \frac{s v}{n}. \quad (3)$$

Здесь  $s$  – известная (для каждой агломашины) постоянная величина;  $h$  – величина, показывающая положение шибера питателя;  $n$  – величина, показываемая скоростью.

К примеру, агломашина, имеющая длину спекаемой зоны 30 м, при установившемся режиме агломерации с вертикальной скоростью спекания 19,6 мм/мин, высотой слоя шихты 296 мм должна работать со скоростью движения палет 1,98 м/мин. Другие показатели при изменении вещественного или гранулометрического состава шихты (или её составляющих), а также других технологических или технических параметров корректируются аналогично.

Решающее влияние на эффективность агломерации, количественным критерием которой является удельная производительность агломерационной машины, наряду с вещественный составом входящих в шихту компонентов, следует считать: газопроницаемость шихты, крупность исходного сырья, комплекс удельной нагрузки, равный произведению высоты слоя шихты на насыпную массу шихты, и вертикальную скорость спекания.

Для отыскание взаимосвязи этих наиболее значимых факторов процесса, нахождение оптимальных их соотношений для спекаемой шихты, определённого вещественного состава нами использован способ анализа размерностей [1, 2].

Обозначим символами и размерностью в Международной системе единиц (СИ) наиболее существенные параметры процесса.

Эффективность процесса агломерации (удельную производительность агломашины) выразим как  $W$ , кг/м<sup>2</sup>·с, [ $L^{-2} M T^{-1}$ ], которая зависит от:

- 1) газопроницаемости шихты  $q$ , м<sup>3</sup>/с × м<sup>2</sup>, [ $L^3 T^{-1} L^{-2}$ ];
- 2) крупности шихты, выраженной через эквивалентный диаметр окомкованной шихты  $d$ , м, [ $L$ ];
- 3) комплекса удельной нагрузки, равной произведению высоты слоя шихты  $h$ , м, [ $L$ ], на насыпную массу шихты  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>, [ $M L^{-3}$ ],  $[h \rho]$ , м × кг/м<sup>3</sup>, [ $L M L^{-3}$ ];

4) вертикальной скорости спекания,  $v$ , м/с, [ $L T^{-1}$ ].

Следовательно, мы имеем функциональную зависимость, выраженную в общем виде:

$$W = f(q, d, h\rho, v). \quad (4)$$

Согласно принципу размерности функциональная зависимость представляется в виде степенного уравнения

$$W = q^x d^y (h\rho)^z v^k. \quad (5)$$

Составим формулы размерности величин, входящих в уравнение (5):

$$W = \text{кг/м}^2 \cdot \text{с} = [L^{-2} M T^{-1}],$$

$$q = \text{м}^3/\text{с} \cdot \text{м}^2 = [L^3 T^{-1} L^{-2}];$$

$$d = \text{м} = [L];$$

$$[h \rho] = \text{м} \cdot \text{кг}/\text{м}^3 = [L M L^{-3}];$$

$$v = \text{м}/\text{с} = [L T^{-1}].$$

Подставляем формулы размерностей в степенное уравнение (5) вместо соответствующих физических величин:

$$[L^{-2} M T^{-1}] = [L^3 T^{-1} L^{-2}]^x [L]^y \times [L M L^{-3}]^z [L T^{-1}]^k \quad (6)$$

или

$$[L^{-2} M T^{-1}] = L^{3x-2x+y+z-3z+k} T^{-x-k} M^z. \quad (7)$$

Приравнивая показатели степени правой и левой части уравнения (7), получим:

$$\text{для } L: \quad 3x - 2x + y + z - 3z + k = -2$$

$$\text{или} \quad x + y + k - 2z = -2;$$

$$\text{для } T: \quad -x - k = -1$$

$$\text{или} \quad x + k = 1;$$

$$\text{для } M: \quad z = 1.$$

Получаем систему уравнений

$$x + y + k - 2z = -2$$

$$x + k = 1$$

$$z = 1$$

Решение системы уравнений позволяет получить значения показателей степеней:

$$x = 1 - k; y = -1; z = 1.$$

Найденные показатели степеней подставляем в формулу (5)

$$W = q^{1-k} d^{-1} (h\rho) v^k \quad (8)$$

$$\text{или } W = \frac{q(h\rho)}{d} \cdot \left(\frac{v}{q}\right)^k. \quad (9)$$

Полученная формула показывает, что эффективность процесса агломерации (удельная производительность агломашины) увеличивается с повышением вертикальной скорости спекания, комплекса удельной

нагрузки и с уменьшением крупности спекаемого материала.

Газопроницаемость шихты играет двойную роль. Физический смысл этого понятен: чем выше показатель газопроницаемости, тем больше вертикальная скорость спекания; с другой стороны, газопроницаемость для определённого вещественного состава шихты – величина, обратно пропорциональная высоте слоя шихты и её насыпной массе. Кроме того, увеличение крупности спекаемого материала повышает газопроницаемость шихты, но при этом параметр увеличения крупности снижает удельную производительность агломашины.

В выведенной формуле (9) составляющая  $\left(\frac{V}{q}\right)^k$

является критериальным безразмерным комплексом, учитывающим вещественный состав спекаемого материала и другие факторы, влияющие на газопроницаемость шихты и вертикальную скорость спекания. Комплекс для одного вида спекаемого материала и при одинаковых условиях ведения процесса имеет величину постоянную.

Функциональная зависимость параметров агломерационного процесса, представленная формулой (9), имеет универсальный характер.

При спекании шихты составом, приведенным в табл. 1, крупностью окомкованного шихтового материала с эквивалентным диаметром, равным 1,5 мм, вычислен критериальный безразмерный комплекс, который равен 0,0000765714 (или  $7,66 \times 10^{-5}$ ), являющийся величиной постоянной.

Так, при вертикальной скорости спекания (V), равной 19,3 мм/мин (0,0003217 м/с), газопроницаемости шихты (q), равной 252 м<sup>3</sup>/мин на 1 м<sup>2</sup> (4,2 м<sup>3</sup>/с на 1 м<sup>2</sup>), комплекс

$$\left|\frac{V}{q}\right| = 0,000076595 \text{ или } 7,66 \cdot 10^{-5}.$$

При V=18,0 мм/мин (0,0003 м/с), q=234,96 м<sup>3</sup>/мин на 1 м<sup>2</sup> (3,916 м<sup>3</sup>/с на 1 м<sup>2</sup>)

$$\left|\frac{V}{q}\right| = 0,000076608 \text{ или } 7,66 \cdot 10^{-5}.$$

При V=17,24 мм/мин (0,0002873 м/с), q=225,0 м<sup>3</sup>/мин на 1 м<sup>2</sup> (3,75 м<sup>3</sup>/с на 1 м<sup>2</sup>)

$$\left|\frac{V}{q}\right| = 0,000076613 \text{ или } 7,66 \cdot 10^{-5}.$$

Таким образом, для определённого агломерируемого материала отношение вертикальной скорости спекания и газопроницаемости шихты при других равных условиях ведения процесса есть величина постоянная.

Используя экспериментальные данные для шихты (см. табл. 1), вычислен показатель k уравнения (9), который равен 1,6246252662 или 1,62. Тогда уравне-

ние (9) примет вид

$$W = \frac{q(h\rho)}{d} \cdot \left(\frac{V}{q}\right)^{1,62}, \quad (10)$$

где степень k равна 1,62; а безразмерный комплекс  $\left(\frac{V}{q}\right)^{1,62}$  в практическом применении удобнее заменить на постоянную величину. Тогда формула (10) будет иметь вид

$$W = 2,0576 \cdot 10^{-7} \frac{q(h\rho)}{d}. \quad (11)$$

Видно, что решающее значение в математической зависимости (11) играет составляющая  $\frac{q(h\rho)}{d}$ , которая

удобна в применении по управлению процессом и может быть использована для автоматизации процесса на основе компьютерного программирования. Она позволяет экономически выгодно регулировать процесс агломерации в зависимости от изменения ее гранулометрического состава и насыпного веса шихты.

Аналогичным способом получена взаимосвязь оптимальных параметров, связанных в функциональную зависимость удельной производительности W, кг/м<sup>2</sup>·с, [L<sup>2</sup>MT<sup>-1</sup>], от общего газодинамического сопротивления слоя шихты p, кг м/с<sup>2</sup> на м<sup>2</sup>, [MT<sup>2</sup>L<sup>-1</sup>]; продолжительности процесса спекания τ, с, [T]; высоты слоя шихты h, м, [L]; насыпной массы шихты ρ, кг/м<sup>3</sup>, [ML<sup>-3</sup>] и крупности спекаемого материала, выраженную через эквивалентный диаметр окомкованной шихты d, м, [L].

В общем виде формула имеет вид

$$W = \frac{p h \rho}{d} \cdot \left(\frac{h \rho}{p \tau^2 d^2}\right)^k. \quad (12)$$

Для шихты (см. табл. 1) показатель k уравнения (12) равен 26,741466 или 26,74, а уравнение (12) имеет вид

$$W = \frac{p h \rho}{d} \cdot \left(\frac{h \rho}{p \tau^2 d^2}\right)^{26,74}. \quad (13)$$

Взаимосвязь оптимальных параметров, связанных аналогичным образом, в функциональную зависимость удельной производительности W, кг/м<sup>2</sup>·с, [L<sup>2</sup>MT<sup>-1</sup>], от газопроницаемости шихты q, м<sup>3</sup>/с·м<sup>2</sup>, [L<sup>3</sup>T<sup>-1</sup>L<sup>-2</sup>]; продолжительности процесса спекания τ, с, [T]; высоты слоя шихты h, м, [L]; насыпной массы шихты ρ, кг/м<sup>3</sup>, [ML<sup>-3</sup>] и вертикальной скорости спекания v, м/с, [LT<sup>-1</sup>] в общем виде

$$W = \frac{h \rho}{\tau} \cdot \left(\frac{V}{q}\right)^k. \quad (14)$$

Для шихты (см. табл. 1) показатель  $k$  уравнения (14) равен 0,07167356808327 или 0,072; а уравнение (14) имеет вид

$$W = \frac{h\rho}{\tau} \cdot \left( \frac{V}{q} \right)^{0,072} \quad (15)$$

Вышеприведенным способом удаётся связать и другие основные параметры процесса спекания, кроме показателя степени увлажнения, который, наряду с физико-химическими свойствами руды, оказывает большое влияние на протекание процесса спекания и в значительной мере определяет все показатели агломерации. Влажность шихты на процесс спекания называется двойко: с одной стороны, от неё зависит окомкованность и соответственно газопроницаемость холодной шихты, а также влага является терморегулятором горения и оказывает влияние на газопроницаемость шихты в процессе спекания; с другой стороны, по мере увеличения влажности шихты до оптимальной качество агломерата улучшается, а затем выход мелочи резко увеличивается.

Оптимальная массовая доля в шихте, обеспечивающая наибольшую газопроницаемость в процессе спекания, зависит от крупности шихтовых материалов

и изменяется в пределах 6,5–8,0%. Подача воды осуществляется путем тонкого распыления в первой трети длины окомкователя. При уменьшении крупности, а также при повышении температуры шихты массовую долю влаги в ней необходимо увеличивать, а при увеличении крупности и снижении температуры шихты – уменьшать. Отклонение массовой доли влаги в шихте от оптимальной не должно превышать  $\pm 0,3\%$ . При отклонениях массовой доли влаги в шихте от оптимальной величины на  $\pm 0,5\%$  снижается газопроницаемость, ухудшается качество агломерата, увеличивается выход возврата и снижается производительность агломашин.

#### Список литературы

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. Изд. 6. М.: Госхимиздат, 1955.
2. Седов А.И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1972.

#### Список литературы

1. Kasatkin A.G. Basic Processes and Chemical Engineering Means. Publ. 6. M.: Goschimizdat, 1955.
2. Sedov A.I. Methods of Similarity and Dimensionality in Mechanics. M.: Science, 1972.

УДК 621.365.2: 621.187.2.046

Ячиков И.М., Логунова О.С.

## УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕМНЫМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ СИЛАМИ В ВАННЕ ДУГОВОЙ ПЕЧИ ПОСТОЯННОГО ТОКА\*

Перемешивание расплава в дуговой печи постоянного тока (ДППТ) применяют для выравнивания химического состава и температуры по объему ванны с целью облегчения скачивания шлака, для транспортировки шлакообразующих и легирующих добавок, для улучшения переработки шихты на откосах печи. При перемешивании улучшаются условия теплообмена в печи, в результате чего уменьшается перепад температуры металла по глубине ванны, а это является одним из важных условий для осуществления автоматического регулирования температурного режима плавки.

Современные ДППТ являются довольно сложными устройствами с точки зрения управления. Наиболее интенсивное перемешивание металла требуется в период плавления шихты и рафинирования расплава. При этом на границе металл-шлак, в области пятна дуги скорость расплава должна быть максимальной, а в области подовых электродов и футеровки – минимальной. В качестве показателей эффективности управления технологическим процессом выплавки металлов в дуговых печах можно указать однород-

ность химического состава расплава и отсутствие очагов его перегрева и охлаждения.

Одной из российских разработок является способ перемешивания расплава в ванне ДППТ путем установки одного осевого графитированного катода, а в подине – не менее двух подовых анодов, смещенных от ее оси симметрии [1]. Электропитание ДППТ осуществляется через два независимых источника постоянного тока, плюсовые провода которых подводятся к подовым электродам, а минусовые подключены к расходуемому графитированному электроду. Это приводит к сложному движению расплава в вертикальной и в горизонтальной плоскостях. Циркуляция расплава в ДППТ с несимметрично расположенными подовыми электродами осуществляется за счет возникновения электровихревых течений (ЭВТ), вызываемых объемными электромагнитными силами (ОЭМС), которые существенно зависят от силы токов, так как обусловлены взаимодействием электрических токов, подводимых к расплаву от сторонних источников ЭДС, с собственными магнитными полями [2].

На основе математических моделей, разработанных в работах [3–6], проведен анализ составляющих ОЭМС в области подового электрода. Имитационное моделирование ОЭМС при одном подовом электроде (рис. 1, а)

\* Работа выполнена по федеральной целевой программе «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России». № гос. контракта П2402 от 18.11.2009 г.



показало, что в горизонтальной плоскости над его поверхностью образуются два противоположно вращающихся вихря (рис. 1, б), кроме того, в меридиональной плоскости вблизи подового электрода малого диаметра возникают интенсивные вихри (рис. 1, в-д).

Таким образом, в дуговой печи постоянного тока ЭВТ являются основным фактором, приводящим к «вымыванию» подового электрода и футеровки вокруг него. Они становятся причиной разрушения подины и приводят к частым ремонтам печи.

При наличии в печи только одного анода повлиять на электровихревые течения без отключения тока дуги не предоставляется возможным, однако при двух анодах появляется возможность «сброса» или «размытия» вихрей в районе подины посредством изменения токов, протекающих через подовые электроды.

Целью работы является выявление и обоснование основных принципов управления объемными электромагнитными силами в ванне ДППГ за счет изменения токов, проходящих через два подовых электрода.

В настоящее время на промышленных печах управление токами, протекающими через подовые электроды, реализуется с помощью тиристорных источников, регулируемых микроконтроллером. Для «размытия» вихрей в районе подовых электродов на большинстве

ДППГ используется периодическое уменьшение тока через каждую ветку до некоторого минимального значения  $I_{\min}$  с периодом  $T$  порядка 100 с (рис. 2, а).

В работе [4] установлено, что при размещении подового электрода со смещением относительно оси ванны наблюдается осевая симметрия электрических и магнитных полей относительно оси, проходящей через центры подового электрода и пятна дуги (ось тока). Осевая проекция плотности тока  $J_z(r)$  и азимутальная напряженность магнитного поля  $H_\varphi(r)$  в цилиндрической системе координат, связанной с осью тока ( $Oz$ ), определяются по регрессионным зависимостям:

$$J_z(r) = i_1 (a|r|^3 + br^2 + c|r| + d);$$

$$H_\varphi(r) = 10i_1 \operatorname{sgn}(r) \left( \frac{a}{5} r^4 + \frac{b}{4} |r|^3 + \frac{c}{3} r^2 + \frac{d}{2} |r| \right),$$

где  $a, b, c, d$  – функции, зависящие от  $z$ .

При двух подовых электродах введем две оси тока, которые пересекаются в центре пятна дуги. Результирующие магнитные и электрические поля определяются по принципу суперпозиции, а ОЭМС как  $\vec{f} = \frac{\mu_0}{\sigma} \vec{J} \times \vec{H}$ , где  $\mu_0$  – магнитная постоянная;  $\sigma$  –

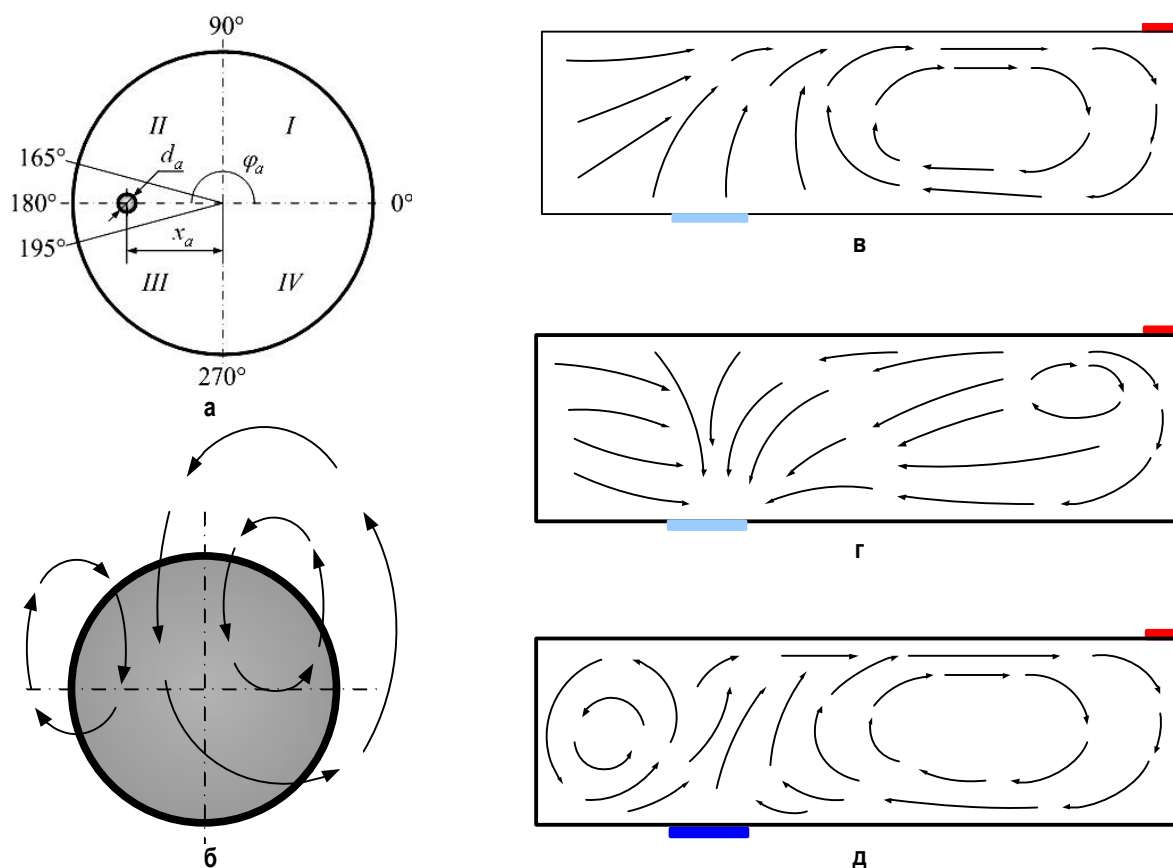


Рис. 1. Характер течения расплава в вертикальных плоскостях при одном подовом электроде, ось которого не совпадает с осью ванны:

а – схема секущих вертикальных плоскостей; б – характер течения над поверхностью подового электрода в горизонтальной плоскости; в –  $\varphi=165^\circ$ ; г –  $\varphi=180^\circ$  (координата оси подового электрода); д –  $\varphi=195^\circ$



проводимость расплава.

На рис. 3 приведена зависимость ОЭМС в секторе между осями тока от соотношения токов при условии, что их сумма остается постоянной ( $i_1+i_2=\text{const}$ ). Расчеты проводились для трехтонной сталеплавильной печи, коэффициенты аппроксимации плотности тока при расстоянии между электродами  $R=300$  мм при  $z=200$  мм выбирались равными  $a=5,68 \cdot 10^{-9}$ ;  $b=9,98 \cdot 10^{-6}$ ;  $c=-0,00568$ ;  $d=1,05$ .

На рис. 3, а показан случай, когда ток  $i_1$  уменьшается от 1 кА до 0, при этом  $i_2$  увеличивается соответственно от 1 до 2 кА, а на рис. 3, б, наоборот,  $i_2$  уменьшается при увеличении  $i_1$ . При этом видно, что между токовыми осями (при  $r/R=0-1$ ) при изменении соотношения токов  $i_1/i_2$  ОЭМС меняют знак.

Таким образом, меняя соотношение токов, проходящих через подовые электроды, можно управлять интенсивностью и направлением ОЭМС, а значит, и ЭВТ расплава.

На основе компьютерных исследований ОЭМС было установлено, что можно существенно усилить подавление вихрей в районе подового электрода, меняя токи по схеме, показанной на рис. 2, б. Дополнительным преимуществом данного управления является то, что сумма токов, проходящих через подовые электроды, а значит, и тепловая мощность дуги остается постоянной.

Для подавления вихрей в районе подового электрода предлагается использование токов, меняющихся по заданному периодическому закону со сдвигом фаз  $\Psi$ . При прохождении через ванну пульсирующих токов  $i_1 = f(\tau)$ ,  $i_2 = f(\tau - \Psi)$  ( $i_1 i_2 > 0$ ), подчиняющихся периодическому закону  $f(\tau)$  со сдвигом фаз  $\Psi$  и периодом  $T$  в каждой ее точке, будет наблюдаться периодическое изменение электрического и магнитного поля. Посредством компьютерного моделирования было установлено, что если  $i_2 = 0$ , то напряженности электрического и магнитных полей меняются во времени пропорционально току  $i_1$ , причем это изменение происходит одновременно (синфазно) во всех точках жидкого расплава [3–5]. Значение отдельных проекций электрического и магнитного поля в каждой точке ванны:  $E_{II} \sim i_1$ ,  $H_{II} \sim i_1$ .

Выполним оценку мгновенного значения электромагнитной силы в данной точке ванны в зависимости от времени. Считая по принципу суперпозиции, что при изменении обоих токов результирующая напряженность электрического и магнитного полей:

$$E_{II} = k_1 f(\tau) + k_2 f(\tau - \Psi),$$

$$H_{II} = k_3 f(\tau) + k_4 f(\tau - \Psi),$$

получим характер зависимости проекции ОЭМС:

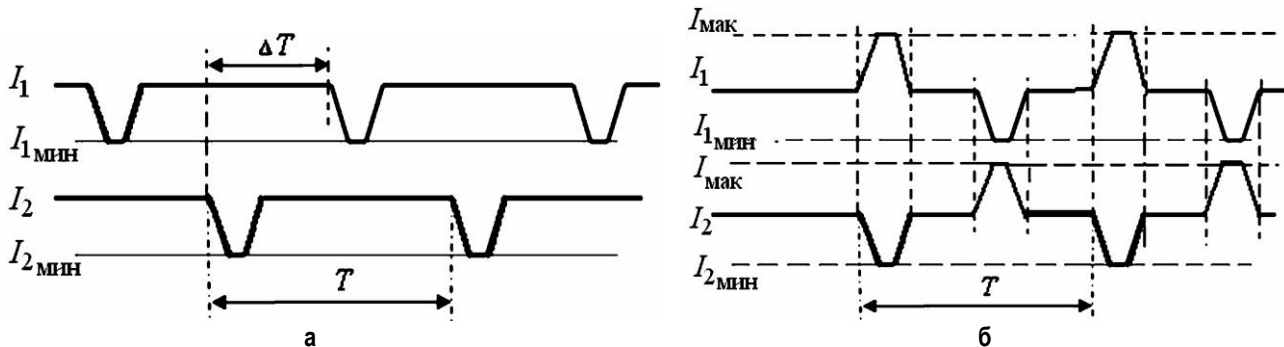


Рис. 2. Характер изменения токов через два подовых электрода:

а – существующий режим управления; б – предлагаемый режим управления ( $I_{1\text{ мин}}=I_{2\text{ мин}}$ ;  $T=2\Delta T$ )

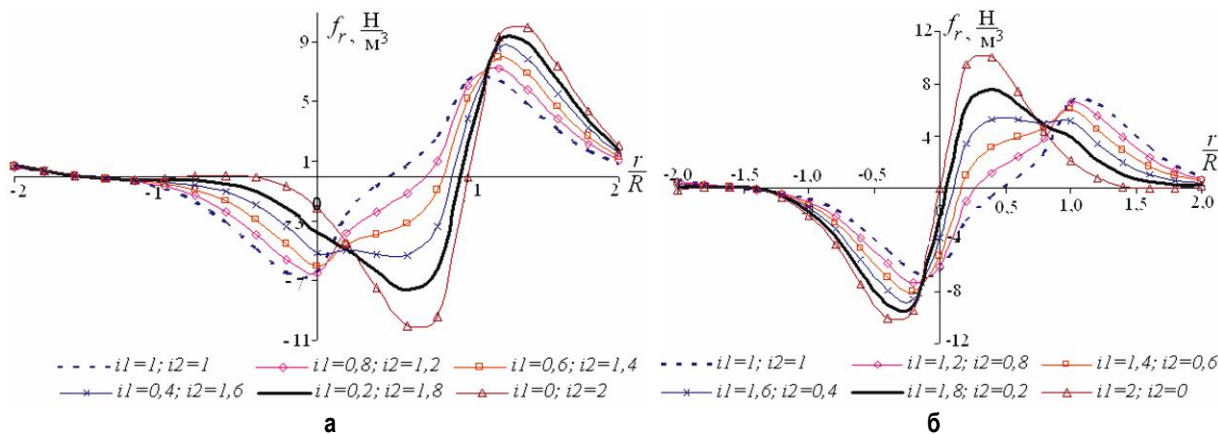


Рис. 3. Зависимость ОЭМС от безразмерного расстояния между электродами при разном соотношении токов ( $i_1+i_2=2$  кА= $\text{const}$ ): а – при уменьшении  $i_1$ ; б – при уменьшении  $i_2$  ( $R=300$  мм)

$$f_{II}(\psi) = c_0 f^2(\tau) + b_0 f^2(\tau - \psi) + a_0 f(\tau) f(\tau - \psi), \quad (1)$$

где  $k_1, k_2, k_3, k_4, a_0, b_0, c_0$  – функции, зависящие от рассматриваемой проекции и координаты точки.

Используя эту оценку мгновенного значения объемной электромагнитной силы в зависимости от протекающих токов через подовые электроды, для произвольной точки ванны определяем проекцию среднеинтегральной ОЭМС как

$$\bar{f}(\psi) = \frac{c}{T} \int_0^T i^2(\tau) d\tau + \frac{b}{T} \int_0^T i^2(\tau - \psi) d\tau + \frac{a}{T} \int_0^T i(\tau) i(\tau - \psi) d\tau, \quad (2)$$

где  $a, b, c$  – функции, зависящие от рассматриваемой проекции и координаты точки.

Первое и второе слагаемые этого выражения – величины постоянные, поэтому зависимость  $\bar{f}(\psi)$  обуславливается только третьим членом. Таким образом, в зависимости среднеинтегральной ОЭМС от сдвига фаз между токами основную роль играет функция

$$\bar{F}(\psi) = \int_0^{2\pi} i(\tau - \psi) i(\tau) d\tau \quad (3)$$

В качестве примера рассмотрим  $T$ -периодическую функцию изменения токов

$$i(\tau, \psi) = \frac{\pi}{2} - \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos\left((2n-2)\left(\frac{2\pi\tau}{T} - \psi\right)\right)}{(2n-1)^2}, \quad (4)$$

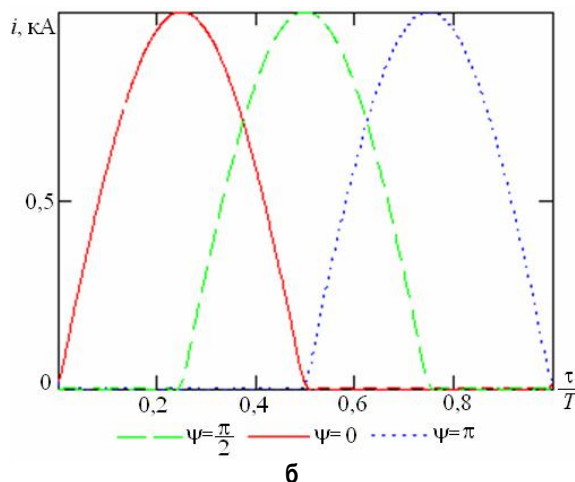
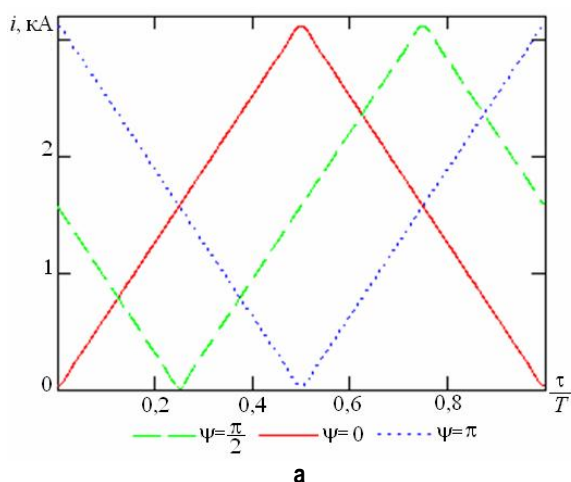


Рис. 4. Зависимость токов от времени при разной начальной фазе  $\Psi$ : а – для функции (4); б – для функции (5)

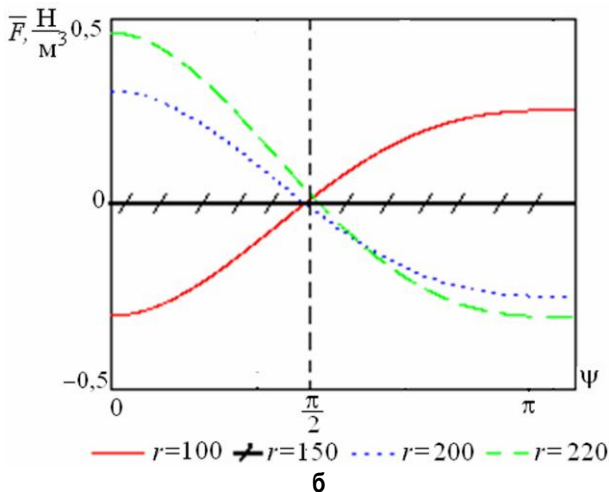
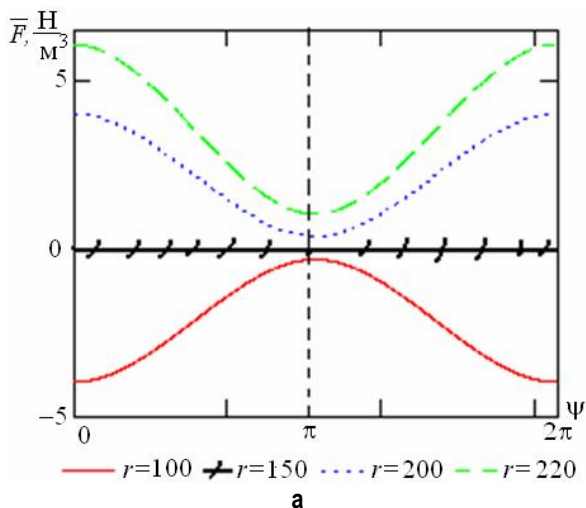


Рис. 5. Поведение средней радиальной ОЭМС от сдвига фаз в разных точках между подовыми электродами при пульсирующих токах: а – по функции (4); б – по функции (5) ( $R=300$  мм)

ее график показан на рис. 4, а, причем среднее и действующее значения тока  $\bar{i}=1,57$  кА и  $I_d=1,81$  кА соответственно.

На рис. 5, а приведена зависимость среднеинтегрального значения радиальной проекции ОЭМС в зависимости от сдвига фаз. Видно, что на половинном расстоянии между осями тока ( $r=R/2=150$  мм) сила равна нулю. При изменении сдвига фаз сила изменяется в 2–3 раза, а ее направление в данной точке ванны остается одним и тем же. Минимум среднеинтегральной силы наблюдается при  $\psi = \pi$ . Незменность направления силы  $f_r$  в данной точке между подовыми электродами можно объяснить тем, что токи пульсирующие, а не знакопеременные.

Однако существуют и такие функции изменения тока (не знакопеременные), при использовании которых  $\bar{F}(\psi)$  меняет знак, например

$$i(\tau, \psi) = \frac{1}{\pi} + \frac{1}{2} \sin(\omega\tau - \psi) - \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos\left((2n)\left(\frac{2\pi\tau}{T} - \psi\right)\right)}{(2n-1)(2n+1)}, \quad (5)$$

ее график приведен на рис. 4, б, причем среднее и действующее значения тока  $\bar{i}=0,25$  кА и  $I_d=0,5$  кА соответственно. Особенностью этой функции является то, что часть периода она имеет нулевое значение. На рис. 5, б для функции изменения токов (5) приведена зависимость среднеинтегрального значения радиальной проекции ОЭМС в зависимости от сдвига фаз. Видно, что в данной точке между подовыми электродами направления силы  $f_r$  меняется на противоположное. Использование на практике аналогичных функций и наложение на них дополнительного условия  $i_1+i_2=\text{const}$  позволяет управлять не только интенсивностью течения расплава, но и его направлением при неизменной полезной электрической мощности печи.

Таким образом, обоснована теоретическая возможность управления течением расплава в ванне ДППТ с двумя подовыми электродами. Установлен качественный характер зависимости объемной электромагнитной силы в произвольной точке ванны

ДППТ от значения токов, протекающих через подовые электроды. Показана возможность управления интенсивностью и направлением течения расплава между подовыми электродами, а значит, и во всей ванне ДППТ за счет изменения соотношения постоянных токов и сдвига фаз между пульсирующими токами, проходящими через подовые электроды. Даны рекомендации к выбору пульсирующих токов.

#### Список литературы

1. Результаты первого этапа освоения дугового плавильного агрегата постоянного тока нового поколения в ОАО «Курганмашзавод» / А.В. Афонаскин, И.Д. Андреев, Н.С. Власов и др. // *Электрометаллургия*. 2002. № 4. С. 16–19.
2. Электровихревые течения / В.В. Бояревич, Я.Ж. Фрейберг, Е.И. Шилова, Э.В. Щербинин. Рига: Зинатне, 1985. 315 с.
3. Ячиков И. М., Портнова И. В. Электромагнитные процессы в ванне ДППТ при произвольном расположении подового электрода // *Электрометаллургия*. 2006. № 11. С. 35–39.
4. Моделирование электровихревых течений в ванне дуговой печи постоянного тока / И.М. Ячиков, О.И. Карандаева, Т.П. Ларина. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. 231 с.
5. Ячиков И.М., Мангаров В.Н. Моделирование объемных электромагнитных сил в ванне расплава ДППТ // *Вестник Самар. гос. ун-та*. 2008. № 6 (65). С. 330–340.
6. Ячиков И.М., Портнова И.В. Характер течения металла в ванне ДППТ с двумя подовыми электродами // *Вестник МГТУ*. 2008. № 3(23). С. 67–69.

#### Список литературы

1. The first stage results of the development of a new generation DC arc melting unit at JSC «Kurganmashzavod» / A.V. Afonaskin, I.D. Andreev, N.S. Vlasov and others // *Electrometallurgy*. 2002. № 4. P. 16–19.
2. Electrovertical flows / V.V. Boyarevich, I.J. Freyberg, E.I. Shilova, E.V. Scherbinin. Riga: Zinatne, 1985. 315 p.
3. Yachikov I.M., Portnova I.V. Electromagnetic process in DC arc furnace bath with an arbitrary location of bottom electrode // *Electrometallurgy*. 2006. № 11. P. 35–39.
4. Electrovertical flows simulating in DC arc furnace bath / I.M. Yachikov, O.I. Karandaeva, T.P. Larina. Magnitogorsk: State Educational Institution of Higher Professional Education «MSTU», 2008. 231 p.
5. Yachikov I.M., Managarov V.N. Volumetric electromagnetic forces simulation in DC arc furnace bath // *Bulletin of Samara State University*. 2008. № 6 (65). P. 330–340.
6. Jachicov I.M., Portnova I.V. Steel flow pattern of liquid melt at DC arc furnace with two bottom electrodes // *Vestnik of MSTU*. № 3(23). P. 67–69.

УДК 621.746.6

Дюльдина Э.В., Селиванов В.Н., Лозовский Е.П.

## ФОРМИРОВАНИЕ ШЛАКА В ПРОМЕЖУТОЧНОМ КОВШЕ МНЛЗ

При непрерывной разливке стали в кислородно-конвертерном цехе ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» в промежуточный ковш МНЛЗ вводят шлакообразующую смесь (ШОС), при расплавлении которой получается жидкий шлак, изолирующий металл от контакта с атмосферой. В процессе разливки химический состав шлака меняется, что оказывает

влияние на его защитные функции. Для изучения изменения состава шлака в процессе разливки стали было проведено специальное исследование, в котором результаты экспериментов анализировались на основе математической модели процесса шлакообразования.

Экспериментальная часть исследования состояла из разливки двух серий опытных плавок. Первая серия

длительностью около 8 ч состояла из 9 плавов стали низкоуглеродистой стали марки SPHC общей массой 3290 т. Вторая серия длительностью 6,5 ч состояла из 5 плавов низколегированной стали марки 17Г1СУ общей массой 1875 т. Разливка осуществлялась из 360-тонного сталеразливочного ковша, имеющего магнезитовую футеровку. Металл заливали в промежуточный ковш вместимостью 45 т, имеющий футеровку из шамотного кирпича, разделительные перегородки из огнеупорного бетона и высокоглинозёмистые стопоры-моноблоки.

При наполнении промежуточного ковша металлом в него вводили шлакообразующую смесь в количестве 170–180 кг. В середине разливки каждой плавки производили добавку смеси в количестве от 48 до 72 кг. Общий расход смеси составлял 0,20 кг/т стали. Химический состав огнеупорных материалов промежуточного ковша и использованной в опытах шлакообразующей смеси приведены в табл. 1.

В середине разливки первой, пятой и девятой плавки первой серии и первой, третьей и пятой плавки второй серии производили отбор проб шлака из промежуточного ковша для химического анализа.

Основными компонентами как шлакообразующей смеси, так и получающегося шлака являются оксиды кальция, кремния и алюминия, суммарное содержание которых находится в пределах 75–85%. Изменяется содержание этих компонентов шлака по-разному (рис. 1). Содержание оксида алюминия в шлаке постепенно увеличивается, что связано с растворением в шлаке огнеупорных материалов промежуточного ковша и всплыванием алюмосодержащих неметаллических включений.

Увеличение массы шлака, вызванное растворением огнеупоров и всплыванием неметаллических включений, приводит к снижению содержания оксида кальция, так как единственным источником поступления в шлак этого компонента является шлакообразующая смесь.

Содержание оксида кремния меняется в относительно узких пределах, сначала возрастая, а затем снижаясь. Такое изменение, по-видимому, вызвано одновременным протеканием двух противоположно действующих процессов. Один из них, уменьшающий содержание SiO<sub>2</sub>, – это общее увеличение массы шлака за счёт поступления других оксидов из разных источников, а другой, увеличивающий содержание оксида кремния, – это растворение шамотной футеровки, основным компонентом которой является этот оксид. Вероятно, на начальном этапе разливки шамотная футе-

ровка растворяется с повышенной скоростью вследствие относительно высокого содержания CaO в шлакообразующей смеси, что и является причиной начального увеличения содержания SiO<sub>2</sub> в шлаке.

Изменение содержания в шлаке оксидов магния и марганца показано на рис. 2. Содержание MgO изменяется аналогично содержанию CaO, так как единственным источником поступления в шлак обоих этих компонентов является шлакообразующая смесь.

Оксид марганца является единственным компонентом шлака, который отсутствует в составе шлакообразующей смеси. Он попадает в шлак из металла в результате всплывания неметаллических включений. К концу разливки обеих серий опытных плавов содержание оксида марганца достигает достаточно высоких значений – около 5% для стали марки SPHC и до 15% для стали марки 17Г1СУ. Этот факт свидетельствует о существенной роли всплывания неметаллических включений в формировании шлака в промежуточном ковше.

В шлаках обеих серий опытов в небольшом количестве (1–2%) содержались также и другие компоненты – Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, F, вносимые шлакообразующей смесью. Концентрация этих компонентов в процессе разливки постепенно снижалась. Совершенно очевидно, что причиной такого изменения является поступление в шлак других компонентов – продуктов разрушения огнеупорных материалов футеровки ковша и неметаллических включений из металла.

Особый характер имеет изменение концентрации оксида железа. В процессе разливки обеих серий она практически не изменялась, оставаясь в пределах 1,0–1,5%. Можно предположить, что содержание FeO определяется не поступлением этого оксида в шлак из разных источников, а является результатом динамического равновесия окислительно-восстановительных процессов, протекающих при разливке.

Анализ полученных экспериментальных данных был проведён с использованием математической модели изменения химического состава шлака в промежуточном ковше в течение разливки каждой серии плавов.

Модель была построена на основе следующих об-

Таблица 1

Химический состав огнеупорных материалов промежуточного ковша и ШОС

Материал	Содержание, %					
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	F	C
Футеровка		61,4	35			
Перегородки	2	6,5	90			
Стопора		8	75			17
ШОС 1-й серии плавов	38,9	30,7	9,0	5,0	2,4	4,5
ШОС 2-й серии плавов	38	30,4	9,1	4,7	2,7	2,1

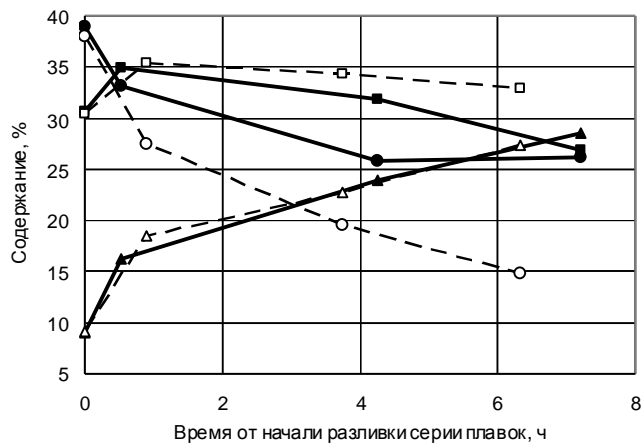


Рис. 1. Изменение содержания CaO (●, ○), SiO<sub>2</sub> (■, □) и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (▲, Δ) в шлаке при разливке стали марок SPHC (—) и 17Г1СУ (---)



щих положений. Исходный шлак образуется в результате расплавления порции шлакообразующей смеси, введённой в ковш при наполнении его жидким металлом. В процессе разливки химический состав шлака меняется вследствие растворения в нём шамотной футеровки, материала разделительных перегородок, стопоров-моноблоков, а также всплывания неметаллических включений из разливаемой стали. Было принято, что масса растворившихся в шлаке огнеупоров увеличивается пропорционально времени, прошедшего с начала разливки, а масса всплывших неметаллических включений – массе разлитого металла.

В соответствии с моделью, построенной на основе этих положений, содержание любого компонента в шлаке в произвольный момент времени может быть определено как средневзвешенная величина содержаний этого компонента во всех материалах, участвующих в шлакообразовании:

$$(K_i) = \frac{\sum m_j K_{ij}}{M}, \quad (1)$$

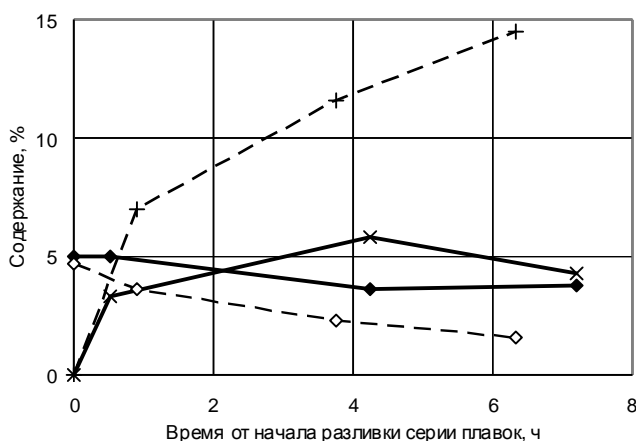


Рис. 2. Изменение содержания MgO (♦, ◇) и MnO (x, +) в шлаке при разливке стали марок SPHC (—) и 17Г1СУ (---)

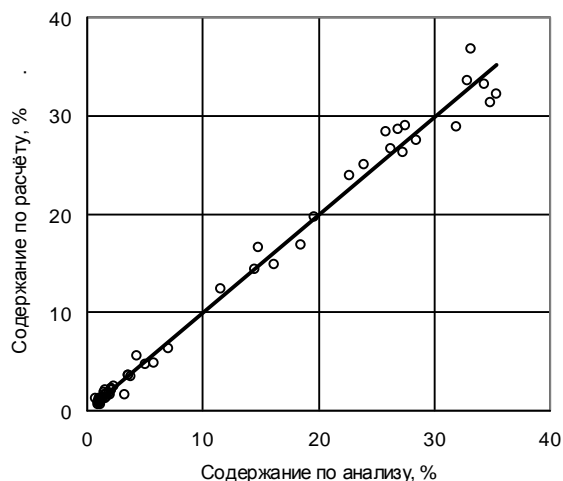


Рис. 3. Сопоставление содержания компонентов в шлаке по расчёту и химическому анализу

где  $(K_i)$  – содержание  $i$ -го компонента в шлаке, %;  $m_j$  и  $M$  – масса  $j$ -го материала, участвующего в шлакообразовании, и общая масса шлака кг;  $K_{ij}$  – содержание  $i$ -го компонента в  $j$ -м материале, %.

Формула (1) отражает баланс  $i$ -го компонента в процессе шлакообразования.

Общая масса шлака определяется по формуле

$$M = \sum m_j . \quad (2)$$

Масса материалов, участвующих в формировании шлака, кроме ШОС, вообще говоря, неизвестна. Неизвестен также и химический состав всплывающих неметаллических включений. Однако все эти неизвестные величины могут быть найдены по данным описанных выше экспериментов.

Уравнение (1) можно составить для любого компонента шлака, состав которого известен по результатам химического анализа. При проведении данного исследования был проконтролирован химический состав шести шлаков (по три шлака при разливке каждой серии опытных плавов). При химическом анализе в каждом шлаке определялось содержание девяти компонентов. Следовательно, используя формулу (1) и экспериментальные данные, можно написать 54 соотношения, образующие единую систему уравнений. Число неизвестных величин в этой системе будет меньше числа уравнений. Такая система уравнений является переопределённой и её решение может быть найдено методами, используемыми в математической статистике, в частности, при регрессионном анализе.

Количество неизвестных величин определяется принятой моделью. Узкие рамки статьи не позволят детально обсудить вопрос о количестве неизвестных величин модели. Укажем лишь, что в данном исследовании было 11 неизвестных:

- три коэффициента, связывающих массу растворившейся в шлаке футеровки, материала перегородки и материала стопоров со временем, прошедшим от начала разливки;
- два коэффициента, связывающих поступление в шлак неметаллических включений с массой разлитой стали;
- шесть величин, характеризующих среднее содержание оксидов кремния, марганца и алюминия в неметаллических включениях стали марок SPHC и 17Г1СУ.

В данном исследовании система уравнений была составлена и решена в среде электронных таблиц Excel с использованием входящей в состав этой среды надстройки «Поиск решения».

В результате решения системы уравнений было установлено, что при разливке обеих серий опытных плавов скорость растворения шамотной футеровки промежуточного ковша составляла в среднем 5 кг/ч, а материала перегородок стопоров-моноблоков – 0,2 и 0,1 кг/ч соответственно. Масса всплывающих в шлак неметаллических включений при разливке стали марки SPHC составила 0,0095% от массы разливаемого металла, а при разливке стали марки 17Г1СУ – 0,0298%.

Химический состав неметаллических включений



Таблица 2

Средний химический состав всплывающих неметаллических включений

Марка стали	Содержание, %			
	SiO <sub>2</sub>	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO
SPHC	15,15	17,24	60,54	7,08
17Г1СУ	33,25	27,35	39,31	0,09

приведён в табл. 2.

С использованием приведенных выше значений по формуле (1) были проведены расчёты изменения химического состава шлака в процессе разливки опытных плавок. Характер изменения содержания компонентов шлака соответствует данным, полученным при химическом анализе (см. рис. 1 и 2). Численно расчётные данные также близки к результатам химического анализа (рис. 3). Линия тренда практически совпадает с диагональю, соответствующей равенству расчётных и опытных данных, а достоверность аппроксимации составляет 0,99. Таким образом, разработанная модель вполне адекватна реальному процессу формирования шлака в промежуточном ковше.

Используя формулу (2) и данные, полученные при обработке результатов экспериментов, можно определить изменение количества шлака в процессе разливки и роль различных источников в его формировании (рис. 4). Как видно из этого рисунка, масса шлака в процессе разливки возрастает в 5–6 раз, причем существенную роль в увеличении массы шлака играет всплывание неметаллических включений. Доля всплывших неметаллических включений в конечном шлаке при разливке низкоуглеродистой стали достигла 33%, а при разливке низколегированной стали – 51%. Доля огнеупорных материалов в конечном шлаке мала – всего 3–4%.

Пробы шлака, отобранного из промежуточного ковша, были использованы также для определения температуры плавления шлака с использованием высокотемпературного микроскопа. За температуру плавления принимали температуру, при которой происходило растекание материала расплавленного образца по огнеупорной подложке. Результаты определения температуры плавления шлаков обеих серий опытных плавок представлены на рис. 5.

Из данных этого рисунка следует, что температура плавления шлака в процессе разливки несколько повы-

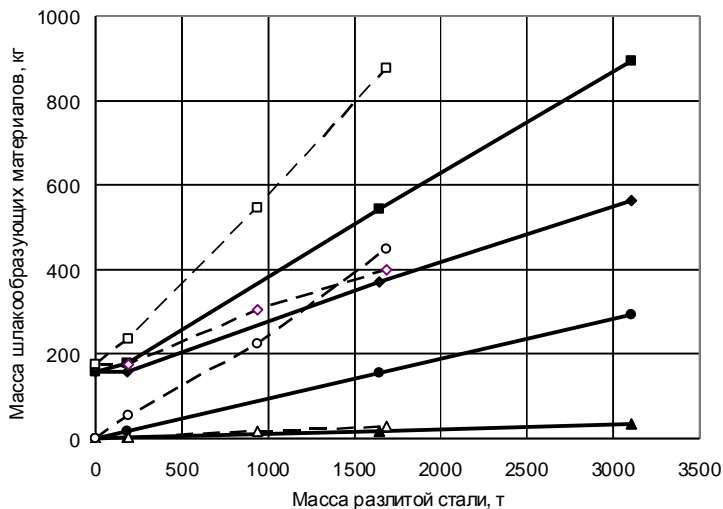


Рис. 4. Изменение массы шлака (■, □), массы ШОС (◆, ◇), огнеупоров (▲, Δ) и неметаллических включений (●, ○), участвующих в шлакообразовании, при разливке стали марок SPHC (—) и 17Г1СУ (---)

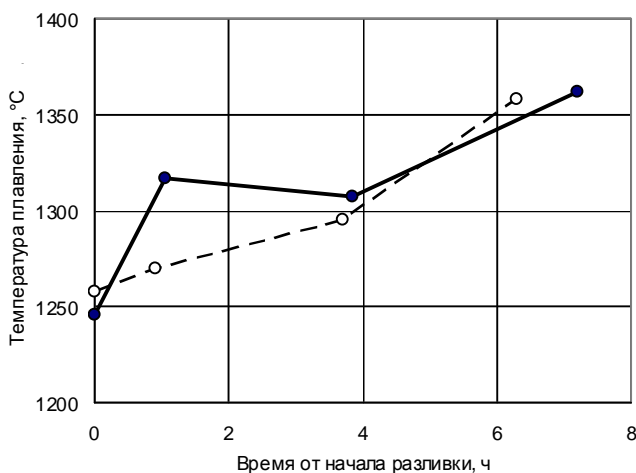


Рис. 5. Изменение температуры плавления ШОС и шлака в промежуточном ковше при разливке стали марок SPHC (●—●) и 17Г1СУ (○---○)

шается, однако это повышение не превышает 100°С. В течение всей разливки серии плавок температура плавления шлака, находящегося в промежуточном ковше, остаётся ниже 1400°С, что обеспечивает пребывание шлака в жидком состоянии. Таким образом, шлакообразующая смесь, используемая в кислородно-конвертерном цехе ММК для создания защитного покрытия металла в промежуточном ковше, выполняет свои функции в течение всего процесса разливки.

## ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.777

Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Соколов Р.Е., Беляев С.В.,  
Лопатина Е.С., Барков Н.А., Ворошилов Д.С.РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ  
ПРОВОЛОКИ ИЗ ТРУДНОДЕФОРМИРУЕМЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ  
СПЛАВОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ СОВМЕЩЕННОЙ  
ОБРАБОТКИ

Существующие технологии производства пресс-изделий малого поперечного сечения на горизонтальных гидравлических прессах имеют ряд недостатков, основные из которых связаны с дискретностью (прерывностью) и высокой энергоемкостью процесса. С другой стороны, существует ряд способов непрерывного прессования, таких как Конформ, Лайнекс и Экстроллинг, которые характеризуются высоким выходом годного, низкими энергозатратами в сравнении с традиционными методами прессования и возможностью деформации непрерывно-литой заготовки за один цикл обработки. Одним из таких способов является процесс совмещенной прокатки-прессования (СПП), применение которого позволяет расширить технологические возможности процесса при получении длинномерных пресс-изделий из цветных металлов и сплавов. Вместе с тем применение СПП для получения прессованных полуфабрикатов малого поперечного сечения из труднодеформируемых алюминиевых сплавов, таких как АК5 и АК12, изучено мало и требует проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

В ряде научных работ для получения данной продукции предлагается использовать технологию, состоящую из следующих этапов: на первом этапе производится повышение пластических свойств литых заготовок за счет применения комплексного легирования алюминиево-кремниевых сплавов в сочетании с повышенными скоростями охлаждения при литье; на втором этапе полученные литые заготовки подвергаются прессованию на гидравлических прессах. Однако такой способ технологически выгоден при больших объемах производства продукции и достаточно трудоемок, так как включает большое количество металлургических переделов с использованием многочисленных операций деформации и термообработки.

В то же время современный уровень развития технологий литья с использованием электромагнитного кристаллизатора (ЭМК) позволяет получать заготовки небольших размеров с повышенными пластическими свойствами, идеально подходящими для процесса совмещенной обработки труднодеформируемых сплавов.

Проведены исследования геометрии очага деформации при условии, что процесс прокатки-прессования

осуществляется на валках разного диаметра, причем валок с выступом имеет больший диаметр, чем валок с ручьем (рис. 1). Очаг деформации разбит на зоны захвата металла при прокатке (зона 1), прокатки (зона 2), распрессовки (зона 3) и прессования (зона 4).

Для анализа процесса СПП с учетом асимметрии рассмотрены условия равновесия всего очага деформации, находящегося под действием контактных нагрузок и силы прессования, при следующих допущениях: деформируемый металл – идеальное жесткопластическое тело; продольные нормальные напряжения  $\sigma_x$  и контактные давления  $p$  являются главными и зависят от сопротивления деформации металла  $\sigma_s$ , поэтому можно применить условие пластичности для плоской деформации  $p - \sigma_x = 2\sigma_s$ ; напряжения постоянны по высоте полосы; принимается закон трения по Зибелю.

После интегрирования, выполнения некоторых преобразований системы уравнений равновесия очага

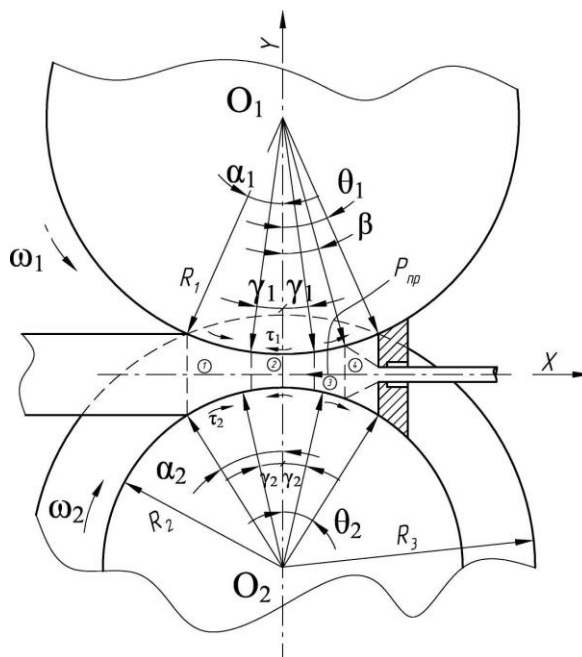


Рис. 1. Схема к расчету очага деформации при СПП

деформации и нахождения  $\alpha_1, \alpha_2, p_{2\alpha}$  получили статически определимую систему из трех уравнений с тремя неизвестными:

$$\begin{aligned} & \gamma_1 \frac{R_1 \tau_1}{R_2 \tau_2} + \gamma_2 \left[ 1 + \frac{h_1 \tau_k}{2b\tau_2} (2 + \cos \Psi_\alpha + \right. \\ & \left. + K_\sigma \cos \Psi_\theta) \right] - \frac{R_1}{8R_2 \tau_2} (p_{1\theta} \theta_1^2 - p_{1\alpha} \alpha_1^2) + \\ & + \frac{R_1 \tau_1 (\alpha_1 + K_\sigma \theta_1)}{4R_2 \tau_2} + \frac{1}{8\tau_2} (p_{2\theta} \theta_2^2 - p_{2\alpha} \alpha_2^2) + \\ & + \frac{1}{4} (\alpha_2 + K_\sigma \theta_2) + \frac{h_1 \tau_k}{2b\tau_2} (\alpha_2 \cos \Psi_\alpha + \\ & + K_\sigma \beta_2 \cos \Psi_\theta) - \frac{P_{пресс}}{4bR_2 \tau_2}; \\ & - R_1 (p_{1\theta} \theta_1 + p_{1\alpha} \alpha_1) + \frac{R_1 \tau_1}{2} (K_\sigma \beta_1^2 - \alpha_1^2) + \\ & + R_2 (p_{2\theta} \theta_2 + p_{2\alpha} \alpha_2) + \frac{R_2 \tau_2}{2} (\alpha_2^2 - K_\sigma \theta_2^2) + \\ & + \frac{2R_2 h_1 \tau_k}{b} (1 + h_1/2R_2) [(\alpha_2 \Psi_\alpha - K_\sigma \theta_2 \Psi_\theta) - \\ & - \gamma_2 (\Psi_\alpha - K_\sigma \Psi_\theta)] = 0; \\ & \gamma_1 \frac{R_1 \tau_1 (1 + h_1/R_2)}{R_2 \tau_2} + \gamma_2 \left[ 1 + \frac{2h_1 \tau_k (1 + h_1/2R_2)^2}{b\tau_2} \right] = \\ & = - \frac{P_{пресс} (1 + h_1/2R_2)}{4bR_2 \tau_2} - \frac{R_1 D}{8R_2^2 \tau_2} (p_{1\alpha} \alpha_1^2 - p_{1\theta} \theta_1^2) + \\ & + \frac{R_1 \tau_1 (1 + h_1/R_2)}{4R_2 \tau_2} (\alpha_1 + K_\sigma \theta_1) + \end{aligned}$$

$$\left. + \left[ 1 + \frac{2h_1 \tau_k (1 + h_1/2R_2)^2}{b\tau_2} \right] \frac{\alpha_2 + K_\sigma \theta_2}{4} \right.$$

Здесь приняты следующие обозначения:  $D = R_1 + R_2 + h_1$ ;  $R_1, R_2$  – катающие радиусы верхнего (индекс 1) и нижнего (индекс 2) валков соответственно;  $h_1$  – зазор между валками при прокатке;  $S_{к\alpha}, S_{к\beta}$  – площади контакта боковой поверхности калибра с деформируемым металлом в зонах прокатки (индекс  $\alpha$ ) и прессования (индекс  $\theta$ ) до входа в обжимающую часть пластической зоны (ОЧПЗ) перед матрицей (индекс  $\beta$ );  $S_{к\gamma}$  – площадь поверхности реактивного трения (индекс  $\gamma$ ) боковой поверхности калибра (индекс  $k$ );  $b$  – ширина калибра;  $\varphi$  – текущий угол;  $\alpha_i, \theta_i, \gamma_i$  – центральные углы захвата, положения матрицы, поверхности реактивного трения на валках;  $\tau_i$  – касательные контактные напряжения на контактных поверхностях валков, калибра и деформируемого металла;  $p_{i\alpha}, p_{i\theta}$  – нормальные контактные напряжения на валках в зоне прокатки и прессования;  $P_{пресс}$  – усилие выдавливания профиля через матрицу,  $K_\sigma = \sigma_{s\theta}/\sigma_{s\alpha}$ ,  $\sigma_{s\alpha}$  и  $\sigma_{s\theta}$  – сопротивление деформации деформируемого металла в зонах прокатки и прессования;  $\Psi_\alpha, \Psi_\theta$  – центральные углы центра масс площадей калибра ( $S_{к\alpha} - S_{к\gamma}$ ), ( $S_{к\theta} - S_{к\gamma}$ ).

В результате решения данной системы уравнений численным методом получили массивы данных расчетных параметров во всем диапазоне варьируемых факторов. Например, для случая прокатки-прессования на установке СПП-200, геометрический очаг деформации которого показан на рис. 2, эти параметры составили:  $\gamma_1=8^\circ55'$ ,  $\Delta h_1/2=1,39$  мм,  $l_{1\alpha}=17,89$  мм;  $\gamma_2=16^\circ05'$ ,  $\Delta h_2/2=2,68$  мм,  $l_{2\alpha}=19,09$  мм.

Сравнение расчетных и экспериментальных значений показало, что полученную аналитическую модель можно рекомендовать для выполнения практических расчетов параметров процесса СПП.

С использованием полученной модели путем решения одномерной краевой задачи теплопроводности при граничных условиях второго и четвертого рода получены зависимости для расчета изменения температуры металла и инструмента при различных условиях прокатки-прессования сплавов АК5 и АК12 без учета и с учетом охлаждения инструмента. Результаты расчетов по длине очага деформации, определяемой отношением длины каждой характерной зоны  $L_i$  к его общей протяженности  $L$ , представлены на рис. 3.

Анализ приведенных графиков подтвердил закономерности изменения температурных условий, характерных для СПП и отмеченных другими авторами, и позволил выявить оптимальный интервал температур подогрева инструмента (до  $150^\circ\text{C}$ ) и охла-

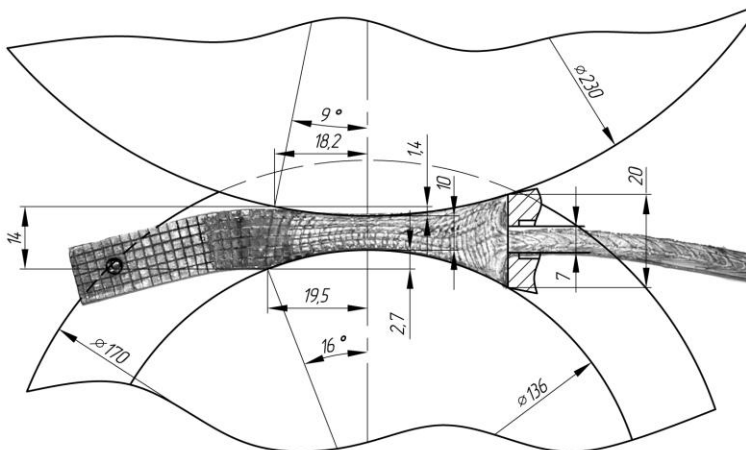


Рис. 2. Фактические размеры очага деформации при СПП

ждения матрицы (на 20–50°C), при котором процесс деформации будет иметь устойчивый характер.

Экспериментальные исследования проводились на литых заготовках, полученных в электромагнитном кристаллизаторе, из сплавов марок АК5 и АК12. В ходе исследований варьируемыми факторами явля-

лись: температура ( $T$ ), скорость деформации ( $\xi$ ) и коэффициент вытяжки ( $\mu$ ), рассчитываемый как  $\mu = F_{заг} / F_{изд}$ , где  $F_{заг}$  и  $F_{изд}$  – соответственно площадь поперечного сечения заготовки и пресованного полуфабриката. С целью получения комплекса экспериментальных данных для дальнейшего регрессионного анализа результатов теоретических исследований и моделирования процесса СПП каждый из этих факторов варьировался в широком диапазоне значений. Температура изменялась от 480 до 550°C, скорость деформации от 0,74 до 1,49 с<sup>-1</sup>, вытяжка от 4,4 до 14,3. Замеряемыми параметрами являлись усилия, действующие на матрицу и на валки в процессе деформации металла.

Методика экспериментальных исследований заключалась в следующем. На первом этапе исследований при помощи ЭМК получали литые заготовки из сплавов АК5 и АК12 диаметром 15 мм. Анализ их микроструктуры при различном увеличении показал, что эвтектика имеет тонкодифференцированное строение, а частицы кремния в ней настолько дисперсные, что не различимы даже при увеличении 1500 крат. Таким образом, слитки, полученные с помощью ЭМК, обладают повышенными пластическими свойствами и могут подвергаться обработке давлением при достаточно больших степенях деформации. На полученных литых заготовках проводили замеры микротвердости и определяли механические свойства, данные по которым представлены ниже.

На втором этапе для экспериментальных исследований и моделирования процессов совмещенной обработки СПП-200, в составе которой имелся электродвигатель переменного тока мощностью 40 кВт со скоростью вращения 900 об/мин, коробка передач, двухступенчатый редуктор с передаточным числом  $i=40$  и максимальным моментом на выходном валу 10 кН×м, шестеренная и прокатная клетки. Установка была оснащена тензометрической аппаратурой и обеспечила проведение ряда экспериментов по изучению влияния варьируемых параметров на силовые условия процесса.

Экспериментальные данные по энергосиловым параметрам процесса СПП приведены на рис. 4. В результате анализа экспериментальных данных были сделаны выводы, подтверждающие общеизвестные положения теории обработки металлов давлением и результаты исследований, выполненных

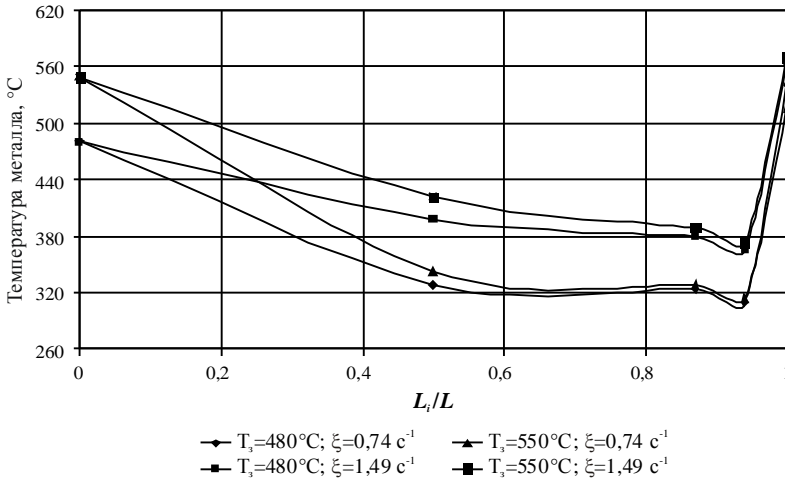


Рис. 3. Зависимость расчетной температуры сплава АК12 от относительной длины очага деформации  $L_i/L$  и скорости деформации при температурах заготовки  $T_3=480$  и  $550^\circ\text{C}$

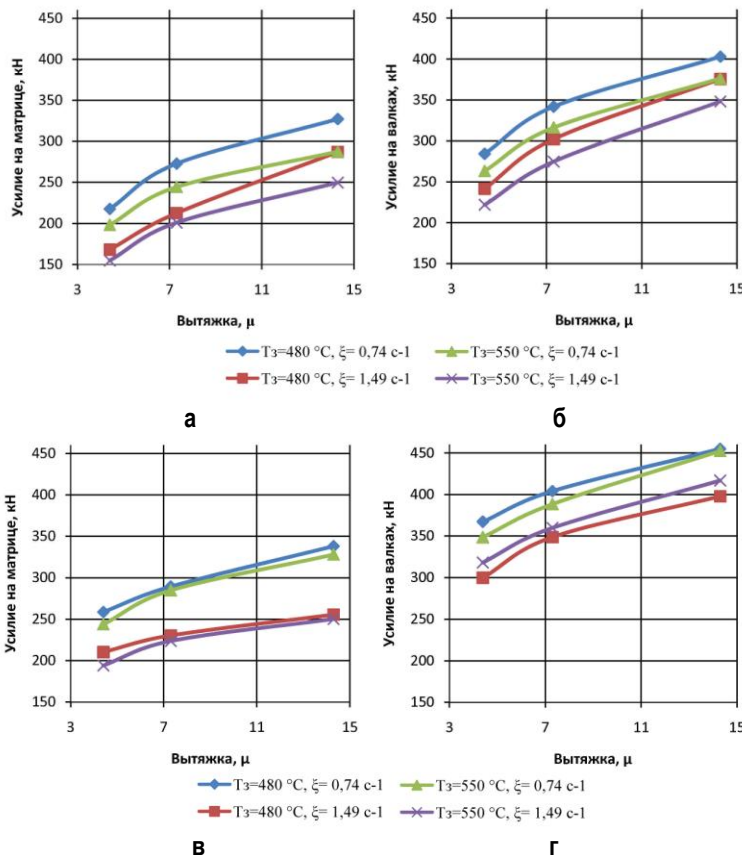


Рис. 4. Зависимость энергосиловых параметров процесса СПП от вытяжки ( $\mu$ ), температуры нагрева заготовки ( $T_3$ ) и скорости деформации ( $\xi$ ) для сплавов АК5 (а, б) и АК12 (в, г)



ранее другими авторами, а именно: с увеличением температуры заготовки снижаются усилия на матрицу и валки; увеличение степени деформации при прессовании ведет к росту энергосиловых параметров процесса СПП; увеличение скорости деформации металла ведет к снижению усилия на валках и на матрице.

В результате последующей обработки массива экспериментальных данных получены регрессионные зависимости для определения энергосиловых параметров процесса СПП сплавов АК5 и АК12, имеющие вид:

$$P = a_0 + a_1 \cdot \left( \frac{T - 515}{35} \right) + a_2 \cdot \left( \frac{\ln \mu - 2,07}{1,18} \right) + a_3 \cdot \left( \frac{\xi - 1,115}{0,75} \right) + a_{12} \cdot \left( \frac{T - 515}{35} \right) \cdot \left( \frac{\ln \mu - 2,07}{1,18} \right) + a_{23} \cdot \left( \frac{\ln \mu - 2,07}{1,18} \right) \cdot \left( \frac{\xi - 1,115}{0,75} \right) + a_{31} \cdot \left( \frac{T - 515}{35} \right) \cdot \left( \frac{\xi - 1,115}{0,75} \right) + a_{123} \cdot \left( \frac{T - 515}{35} \right) \cdot \left( \frac{\ln \mu - 2,07}{1,18} \right) \cdot \left( \frac{\xi - 1,115}{0,75} \right),$$

где  $T$  – температура нагрева заготовки;  $\xi$  – скорость деформации;  $\mu$  – коэффициент вытяжки;  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_{12}, a_{23}, a_{31}, a_{123}$  – коэффициенты регрессии, значения

которых представлены в табл. 1.

Полученные уравнения прошли проверку на адекватность экспериментальным данным с использованием критерия Фишера и могут быть рекомендованы для расчета энергосиловых параметров процесса СПП для сплавов АК5 и АК12 при проектировании технологий и устройств совмещенной прокатки-прессования силуминов.

На третьем этапе исследований полученный после СПП пруток подвергали волочению по режиму с изменением диаметров 7 – 5,5 – 4 – 3 – 2,7 – 2,4 – 2,2 – 2 (мм) без промежуточных отжигов и обрывов и изготовили проволоку диаметром 2 мм. Для получения проволоки меньшего поперечного сечения (1,4 мм) проводили отжиг по следующему режиму: температура нагрева  $T=400^\circ\text{C}$ , время выдержки 1,5 ч. На рис. 5 приведены микроструктуры полученных полуфабрикатов, из которых видно, что структура мелкозернистая, а твердый раствор алюминия и эвтектика располагаются равномерно, при этом наблюдается ориентировка зерен вдоль оси деформации и отсутствуют дефекты. Таким образом, проведенные экспериментальные исследования показали, что горячая обработка литой заготовки из ЭМК методом совмещенной прокатки-прессования и последующее волочение дало возможность получать проволоку с высоким уровнем механических свойств и мелкозернистой структурой при реализации многократных деформаций без применения промежуточных отжигов.

Новые технические решения по конструкции оборудования и инструмента и технологические решения по получению сварочной проволоки из силуминов на базе применения методов совмещенной обработки алюми-

ниевых сплавов защищены патентами РФ. Например, установка для непрерывного литья, прокатки и прессования металла (пат. 67492 РФ), включающая печь-миксер, электромагнитный кристаллизатор, правильно-задающее устройство, деформирующий узел, устройство охлаждения и устройство намотки, является базовым техническим решением для разработки новой технологии получения проволоки из силуминов. Для процес-

Таблица 1

Значения коэффициентов регрессии для расчета энергосиловых параметров процесса СПП сплавов АК5 и АК12

Усилие	Значения коэффициентов регрессии							
	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_{12}$	$a_{23}$	$a_{31}$	$a_{123}$
для сплава АК5								
На валках	333,45	7,375	42,25	1,775	-20,85	-15,6	19,3	-19,43
На матрице	236,29	-13,7	51,6	21,3	-5,5	1,9	1,1	-0,5
для сплава АК12								
На валках	391,79	12,463	38,44	-13,71	-7,44	-9,26	16,81	-12,39
На матрице	259,85	-1,9	33,2	-32,3	5,8	-7,7	-0,8	-0,5



а



б



в

Рис. 5. Микроструктуры полуфабрикатов из сплава АК12 ( $\times 1500$ ):

а – прессованный пруток после СПП диаметром 7 мм; б – проволока продольного сечения после волочения диаметром 2 мм; в – проволока продольного сечения после отжига и волочения диаметром 1,4 мм

сов, когда заготовка с требуемым для обработки уровнем пластических свойств не может быть получена с помощью кристаллизатора, предлагается использовать установку для непрерывного литья, прокатки и прессования (пат. 73245 РФ), которая включает печь-миксер наклонного типа с регулятором подачи расплава в калибр валков, валок с ручьем и валок с выступом, расположенные в станине, имеющие полости для охлаждения и образующие закрытый калибр, перекрытый на выходе матрицей с клиновидными полостями для охлаждения.

С целью автоматизации процессов проектирования оснастки и оборудования для применяемых методов совмещенной обработки, а также технологических расчетов, с использованием среды объектно-ориентированного программирования Delphi 7.0 создано программное обеспечение. Оно включает имитационные модели установок совмещенной обработки, модели аналитического определения реализуемости процесса СПП и расчета энергосиловых параметров, а также блоки проектирования прессового и валкового инструмента. Технические решения и разработанное программное обеспечение внедрены в учебный процесс в ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» и используются при обучении студентов специальности 150106 «Обработка металлов давлением».

На базе новых технических решений была разработана технология получения сварочной проволоки Св. АК12, которая состояла из следующих технологических переделов. На первом этапе при помощи ЭМК получали литую заготовку диаметром 15 мм с повышенными пластическими свойствами. Далее полученные заготовки нагревали до температуры 550°C и обрабатывали на установке СПП-200 со скоростью деформации  $\xi=0,74 \text{ с}^{-1}$  и вытяжкой  $\mu=7,3$ . На последнем этапе полученный пруток диаметром 7 мм подвергали холодной обработке методом волочения для получения проволоки диаметром 2 мм. Результаты механических испытаний на каждом из этапов технологической обработки представлены в табл. 2, при этом следует отметить, что пластические и прочностные свойства полученных литых заготовок значительно превышают требования ГОСТ Р 50511-93, что позволяет получить деформируемые полуфабрикаты

Механические свойства полуфабрикатов из силуминов

Марка сплава	Вид изделия	Механические свойства	
		$\sigma_{\text{в}}$ , МПа	$\delta$ , %
АК5	Литая заготовка диаметром 15,0 мм	270,0	15,0
	Пруток диаметром 7,0 мм	280,3	9,0
	Проволока диаметром 3,0 мм	382,0	4,8
	Проволока диаметром 2,6 мм	376,7	4,0
	Проволока диаметром 2,0 мм	413,8	2,8
АК12	Литая заготовка диаметром 15 мм	290,8	14,8
	Пруток диаметром 7,0 мм	201,1	20,2
	Проволока диаметром 3,0 мм	402,2	4,0
	Проволока диаметром 2,5 мм	425,1	3,0
	Проволока диаметром 2,0 мм	445,7	1,5

заданных размеров.

На базе проведенных исследований были получены и переданы на ФГУП «НПО ПМ» (г. Железногорск) опытные партии сварочной проволоки Св. АК12, предназначенной для пайки волноводных трактов, применяемых в космической и авиационной технике. В результате испытаний было установлено, что проволока марки Св. АК12, полученная по предлагаемой технологии, соответствует требованиям ТУ 1-808-274-2003 и может быть использована в производстве, что подтверждено актом опытно-промышленной апробации и актом внедрения.

Таким образом, в результате проведенных исследований была разработана и внедрена новая технология производства сварочной проволоки из силуминов на основе применения совмещенных методов обработки. Использование данной технологии позволило существенно снизить себестоимость производства продукции за счет минимизации количества операций и получить качественные изделия малого поперечного сечения из труднодеформируемых алюминий-кремниевых сплавов (силуминов).

УДК 621.778.1.073

Славин В.С.

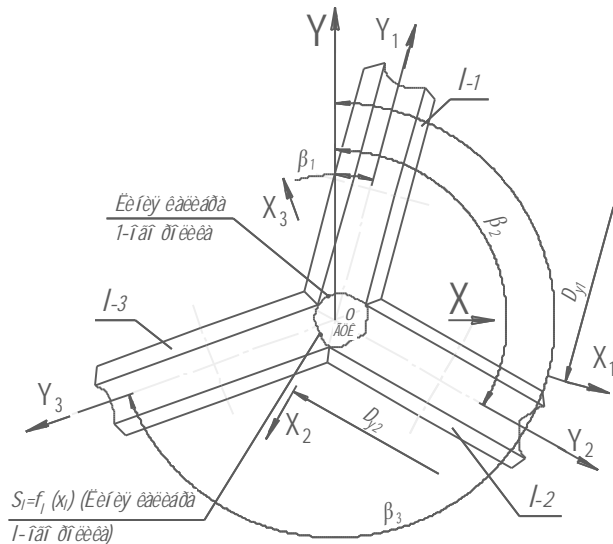
## ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ, ОБРАЗОВАННОГО ПРОИЗВОЛЬНЫМ КОЛИЧЕСТВОМ РОЛИКОВ

Развитие волочения в волоках с многороликовым калибром связано с преимуществами, обусловленными снижением сил трения и более благоприятной схемой напряженно-деформированного состояния металла в калибре. В настоящее время известны калибры, образованные от двух до восьми роликов, при этом их число может быть как четным, так и нечетным.

Традиционно для описания геометрии очага деформации применяют три основных параметра: размер ка-

либра, диаметр рабочей поверхности валков и межосевое расстояние рабочих валков. Однако возникают сложности при описании калибров, образованных нечетным количеством роликов. Поэтому для формализации очага деформации целесообразно использовать наиболее общий параметр, характеризующий все возможные варианты построения многороликовых калибров.

В дальнейшем будем использовать базовую точку – геометрический центр калибра (ГЦК) [1]. За ГЦК



Общий случай формирования калибра роликами

принимается точка пересечения средних плоскостей профилей ручьев, образующих калибр в плоскости вращения роликов (см. рисунок).

Полную информацию о геометрии калибра можно определить, используя условные диаметры роликов –  $D_{vl}$ , за которые принимаются удвоенное расстояние от ГЦК до оси вращения ролика. В общем случае условные диаметры роликов, которые образуют калибр, и углы между плоскостями их вращения могут быть не равны между собой [2], поэтому каждому  $l$ -му ролику присвоим соответствующий номер.

Представим описание геометрии очага деформации с использованием принятых понятий. Для этого примем глобальную систему координат  $OXYZ$ , начало которой расположим в ГЦК, а оси координат  $OX$  и  $OY$  – в плоскости калибра. Линию многороликового калибра, как правило, представляющую собой замкнутую ломанную или кривую линию, разобьем на отдельные отрезки по принципу принадлежности  $l$ -му ролику. Тогда уравнение линии калибра через ее отдельные отрезки в плоскости  $OXY$  глобальной системы координат можно записать:

$$S_l^* = f(X), \quad (1)$$

где  $S_l^*$  – ордината линии калибра  $l$ -го ролика в глобальной системе координат.

Для получения уравнений деформирующих поверхностей роликов удобнее пользоваться локальными системами координат, которые связаны с плоскостью вращения  $l$ -го ролика. Каждую локальную систему координат получим путем поворота глобальной системы вокруг оси  $OZ$  при ее фиксации в положении, когда ось  $OY$  будет перпендикулярна оси враще-

ния каждого  $l$ -го ролика. В этом случае ось  $OX_l$  будет направлена параллельно оси вращения ролика. Таким образом, мы получим несколько локальных систем координат  $OX_lY_lZ$  с точкой отсчета  $O$ , лежащей в ГЦК. При этом число локальных систем координат равно числу роликов, образующих калибр.

С помощью направляющих косинусов преобразуем уравнения линий калибра каждого  $l$ -го ролика в локальную систему координат этого же ролика. Тогда систему уравнений (1) можно записать:

$$S_l = f_l(X_l), \quad l = 1, \dots, n. \quad (2)$$

где  $S_l$  – ордината линии калибра  $l$ -го ролика в локальной системе координат этого ролика.

Используя принятый параметр условных диаметров роликов  $D_{vl}$  и уравнения (2) линий калибра в локальных системах координат, получим уравнения поверхностей вращения в общем виде:

$$Z^2 + \left( Y_l - \frac{D_{vl}}{2} \right)^2 = \left[ \frac{D_{vl}}{2} - S_l(X_l) \right]^2, \quad (3)$$

$$l = 1, \dots, n,$$

где  $D_{vl}$  – условный диаметр  $l$ -го ролика.

Полученные зависимости представляют собой уравнения поверхности ручьев каждого ролика в локальных системах координат.

Уравнение (3) при его совместном решении с уравнением заготовки, преобразованным в локальные координаты отдельных роликов, позволяет определить необходимые параметры очага деформации: уравнения линий контакта металла с роликами, длину очага деформации, углы охвата металла роликами и т.д. Полученные аналитические зависимости параметров для калибров, образованных как четным, так и нечетным количеством роликов, позволяют повысить эффективность расчетов при определении энергосиловых параметров процесса деформации.

#### Список литературы

1. Славин В.С. Уравнение упругой деформации роликовых валок с многороликовым калибром // Изв. вузов. Черная металлургия. М., 2007. № 7. С. 24–30.
2. Выдрин В.Н. К теории расчета давления металла на валки // Теория и технология прокатки: межвуз. сб. Челябинск, 1975. С. 18–32.

#### List of literature

1. Slavin V.S. Equation of elastic deformation of drawing die in multi-roll pass // Proceedings of the Academies. Iron and Steel Industry. M., 2007. № 7. P. 24–30.
2. Vydrin V.N. To the calculation theory of the roll force, Theory and roll technology: Academy book. Chelyabinsk, 1975. P. 18–32.

Козлов А.В., Шеркунов В.Г., Хилькевич Я.М.

## МЕХАНИЗМЫ СНИЖЕНИЯ УСИЛИЙ ГИБКИ ТРУБ ПРИ ИХ РАСКАТЫВАНИИ С БОЛЬШИМИ НАТЯГАМИ

В ряде работ [1–3] нами было показано, что воздействие на изгибаемую трубу вращающимся деформирующим инструментом, например раскатником, может привести к существенному снижению изгибающих усилий, повышению качества получаемых изделий и расширению возможностей холодной гибки труб (рис. 1). Это позволило предположить, что возможно разработать параметры новой технологии холодной гибки труб с дополнительным воздействием на изгибаемую трубу вращающимся раскатником, заведенным в трубу с большим натягом.

Мы считаем, что в явлении снижения усилий гибки при раскатывании труб возможно участие двух механизмов.



Рис. 1. Схема гибки труб с раскатыванием

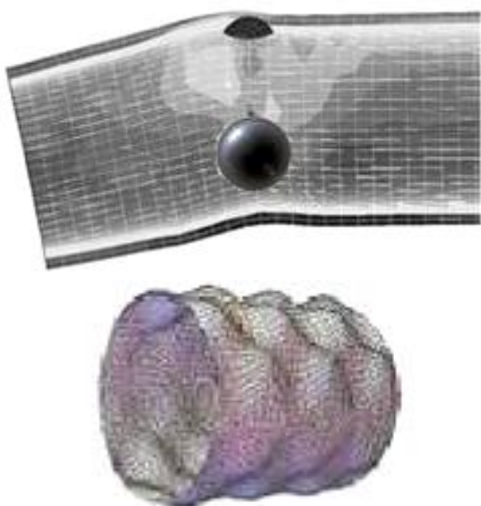


Рис. 2. Деформация стенок трубы вращающимся шариковым раскатником

Теоретические обоснования этого способа холодной гибки были предварительными и весьма приближительными [2, 4].

При раскатывании тонкостенной трубы с большими натягами возникает сложное пространственное напряженное состояние трубы далеко за пределами упругости в зоне контакта и облегания трубой деформирующего элемента.

С достаточной точностью это физическое явление может быть лишь численно смоделировано трехмерной моделью цилиндрической оболочки, находящейся в условиях контактной задачи в упругопластическом состоянии.

Но, к сожалению, и при численном моделировании вычлнить главные теоретические механизмы явления достаточно затруднительно. Поэтому некоторые приближенные оценки с этой точки зрения могут быть полезны. Тонкая стенка трубы облегает поверхность шарика и принимает кривизну, примерно равную его радиусу (с учетом толщины стенки) как в продольном, так и в поперечном направлениях (рис. 2).

Так, например, для гибки с раскатыванием стальных водопроводных труб диаметром 100 мм с толщиной стенки 3–4 мм мы применяли шарики диаметром 30–40 мм.

Тогда из известной формулы  $2\mu = 2\rho\sigma_t/E$  имеем толщину упругого слоя порядка 0,1 мм, что по сравнению с толщиной стенки величина пренебрежимо малая. Таким образом, можно приближенно полагать, что в трубе наблюдаются пластические шарниры как в продольном (рис. 3), так и в окружном направлениях (рис. 4).

Изгибающий трубу момент раскладывается на пару сил, сжимающую в нижней части трубу и растягивающую в верхней ее части.

Поэтому есть смысл рассмотреть, как влияют на сопротивление растягивающей силы (или сжимающей, что эквивалентно) моменты, изгибающие растягиваемый элемент с образованием пластических шарниров.

Из предварительных теоретических оценок выясняется, что и в случае, когда растягивающая сила и изгибающий момент лежат в одной плоскости (механизм 1), и в случае, когда эти сила и момент лежат в перпендикулярных плоскостях (механизм 2), величина растягивающей силы может быть как угодно мала.

Для уяснения первого механизма рассмотрим стержень шириной, равной единице, нагружаемый знакопеременным моментом  $M$ , так что средняя линия принимает кривизну  $\pm 1/\rho$  (рис. 5). Пусть относительная толщина с тержня  $h/\rho$  достаточно велика, чтобы пренебречь толщиной упругого слоя ( $2\mu$ ).

При приложении к стержню растягивающих сил  $N$ , как бы ни были малы эти силы, пластические шарниры



становятся асимметричными, а нейтральный слой сдвигается на величину  $f$ . Нетрудно видеть, что  $f=N/2\sigma_T$ .

При изгибе только нейтральный слой не испытывает ни удлинения, ни укорочения, следовательно, средний слой стержня и в верхнем, и в нижнем положении, то есть при изгибе обоих знаков, испытывает удлинение, равное

$$\Delta l = \frac{l}{\rho} f,$$

а за полный цикл знакопеременного изгиба удлинение составит

$$\Delta l = 2\Delta l = \frac{2lf}{\rho} = \frac{l N}{\rho \sigma_T}.$$

Рассмотрим более подробно действие второго механизма. Как известно, пластические деформации пропорциональны и коллинеарны девиатору напряжений:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= 1,5 K[\sigma_1 - \sigma_{cp}]; \\ \varepsilon_2 &= 1,5 K[\sigma_2 - \sigma_{cp}]; \\ \varepsilon_3 &= 1,5 K[\sigma_3 - \sigma_{cp}], \end{aligned}$$

где  $3\sigma_{cp} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$ .

В слое, где растягивающее окружное напряжение, равное пределу текучести (рис. 6),  $\sigma_1 = \sigma_T$ , а  $\sigma_3 = 0$ , то

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= 1,5 K[\sigma_T - (\sigma_2 + \sigma_T)/3]; \\ \varepsilon_2 &= 1,5 K[\sigma_2 - (\sigma_2 + \sigma_T)/3]. \end{aligned}$$

Деформация продольного растяжения будет  $\varepsilon_2 > 0$ , если растягивающее напряжение  $\sigma_2 > 0,5\sigma_T$ .

Если оба напряжения одного знака, то даже если одно достигло  $\sigma_T$ , второе, тем не менее, должно быть не меньше  $0,5\sigma_T$ .

Если же в сжатом слое  $\sigma_1 = -\sigma_T$ , а  $\sigma_3 = 0$ , то

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= 1,5 K[-\sigma_T - (\sigma_2 - \sigma_T)/3]; \\ \varepsilon_2 &= 1,5 K[\sigma_2 - (\sigma_2 - \sigma_T)/3]. \end{aligned}$$

То есть  $\varepsilon_2 > 0$ , даже если  $\sigma_2 = 0$  (точнее, уже при  $\sigma_2 > -0,5\sigma_T$ ).

Таким образом, при окружном растяжении оболочки нужно продольно растягивать половинным предельным нагружением, тогда как при окружном сжатии осевая растягивается сама. Однако оказывается, что зоны пластического шарнира вообще не оказывают сопротивления осевым напряжениям, поскольку необходимо рассматривать совместное решение для растягиваемого и сжимаемого при изгибе слоев выделенного элемента. Сжимаемая половина ширины оболочки «тянет» вторую, растягиваемую половину в продольном направлении. Тогда сопротивление заштрихованной части близко к нулю. Заметим, что даже если они друг друга «тянут» неравномерно, после поворота раскатки на угол  $\pi/n$  (где  $n$  – число шариков), сжимаемая и растягиваемая половины поменяются местами (пластический шарнир другого знака). Так что в среднем все будет равномерно.

Таким образом, при гибке труб с раскатыванием имеет место суммарное действие обоих механизмов, что существенно снижает необходимые для удлинения наружной или укорочения внутренней стенок силы растяжения или сжатия соответственно.

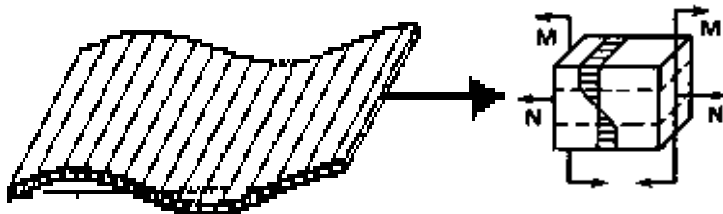


Рис. 3. Образование пластических шарниров при продольных циклических нагрузках

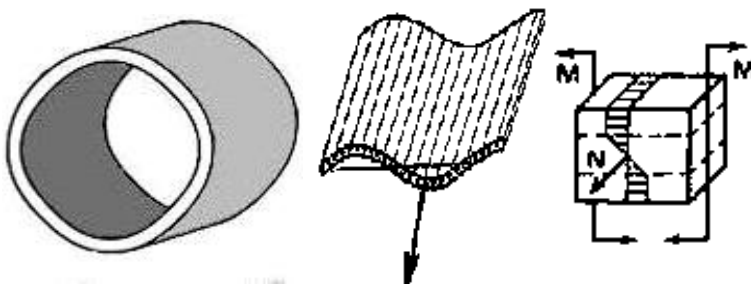


Рис. 4. Образование пластических шарниров при поперечных циклических нагрузках

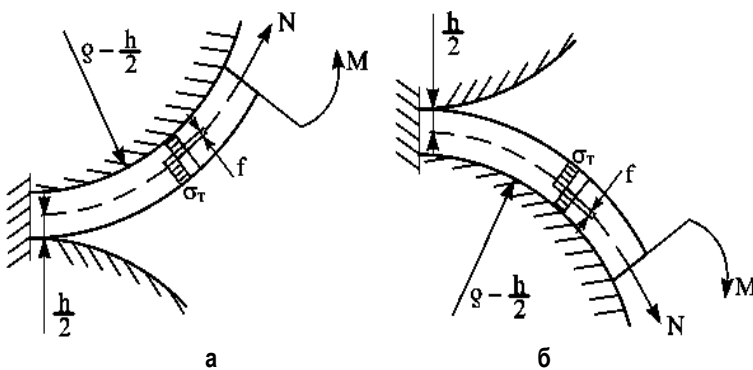


Рис. 5. Схема механизма удлинения стенки трубы в условиях знакопеременного изгиба

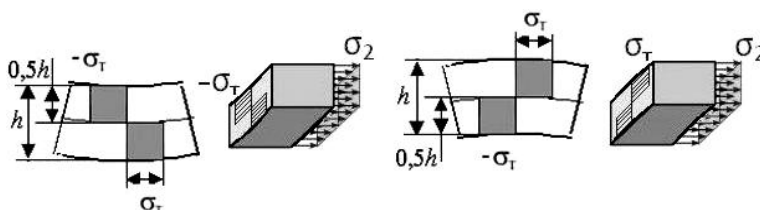


Рис. 6. Распределение напряжений при раскатке раскатываемой трубы

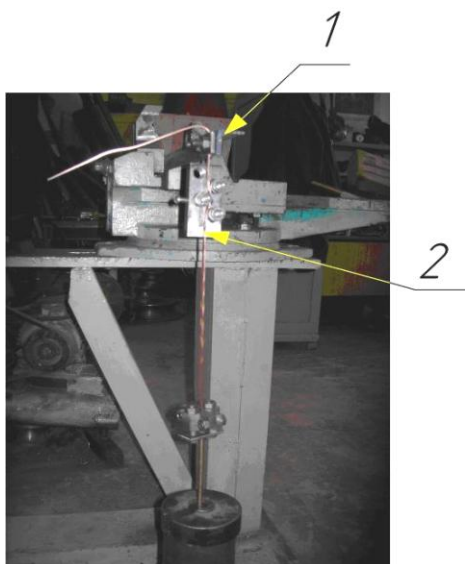


Рис. 7. Внешний вид



Рис. 8. Роликовая вальцовка экспериментальной установки



Рис. 9. Роликовая раскатка с 3-мя деформирующими роликами

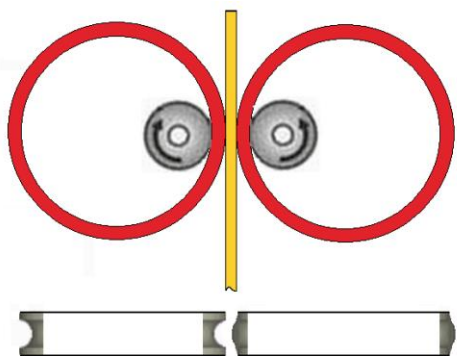


Рис. 10. Деформирующая головка для продольного изгиба полосы

Для проверки описанных выше механизмов была произведена серия принципиальных экспериментов.

В частности, была спроектирована и изготовлена экспериментальная установка для проверки первого механизма.

Установка состоит из подвески 1, в которой жестко защемлен испытуемый образец 2 (рис. 7). Образец представляет собой свинцовую полосу длиной 300 мм, шириной 10 мм и толщиной 1 мм. Предел прочности при растяжении 10–12 МПа (1–1,2 кг/мм<sup>2</sup>). Циклические знакопеременные нагрузки создавались специальной роликовой вальцовкой, перемещаемой вдоль полосы (рис. 7, 8).

В результате проведенных экспериментов получены следующие данные.

Измерением отмечено удлинение полосы в пределах 3–4 мм за один двойной ход вальцовки при рабочей нагрузке 3 кг. Это составляет 0,3 кг на один миллиметр толщины, что значительно меньше исходной прочности. За один двойной ход вальцовки (4Δl) полоса удлинялась на 3–4 мм, поскольку при f=0,3 мм/l составляло 200 мм, а ρ – 20 мм. В целом до разрыва суммарное удлинение полосы составило 70–80 мм.

Испытаниям подверглись также образцы из листовой меди и алюминия. В целом удлинение медной полосы сечением 5×2 мм составило 1–2 мм на двойной ход вальцовки при рабочей нагрузке 19–20 кг. Значительно медленнее происходило удлинение полосы из алюминия размером поперечного сечения 5×1 мм. Оно составило 0,1–0,2 мм на двойной ход инструмента при растягивающей нагрузке 9,5 кг.

Проведенные эксперименты позволяют сделать вывод о существовании закономерности необратимого пластического сжатия или растяжения элемента вдоль действия сил произвольного направления и величины при циклическом знакопеременном изгибе тонкостенного упругопластического элемента, с образованием пластических шарниров, во много раз меньшей величины силы, при которой должна начаться пластическая деформация данного элемента, в отсутствие циклического изгиба.

Предположительно этот же механизм отвечает и за раздачу раскатываемых трубы или кольца от действия растягивающих окружных реакций. При небольшом числе шариков или роликов растягивающие кольцо силы малы, во много раз меньше, чем необхо-



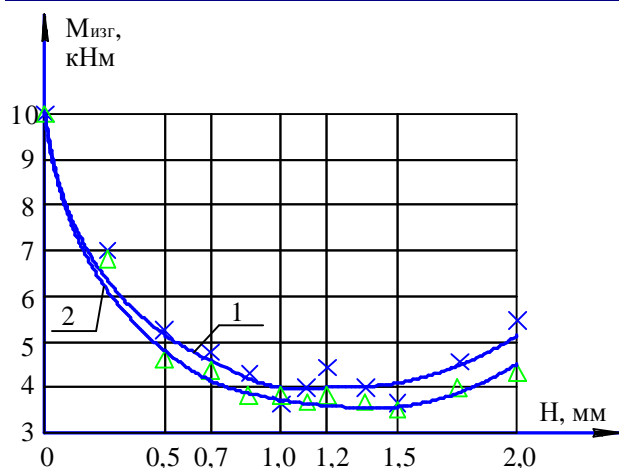


Рис. 11. График зависимости изгибающего момента от натяга

димая в статике сила текучести или разрыва. Однако с каждым оборотом раскатки (рис. 9) диаметр и длина окружности трубы и кольца неуклонно увеличиваются. В экспериментах раскатывалось тонкостенное алюминиевое кольцо диаметром 70 мм с толщиной стенки 1 мм, шириной 20 мм. Начальный натяг составил 2,5 мм. Удлинение кольца составило 6 мм за 10 оборотов раскатки.

Подобные знакопеременные циклические нагрузки в продольном и поперечном сечениях испытывает и изгибаемая труба, раскатываемая инструментом с небольшим числом деформирующих элементов.

Для проверки действия второго механизма была изготовлена деформирующая головка, состоящая из двух пар выпуклых и вогнутых роликов (рис. 10).

При перемещении головки вдоль растягиваемой полосы происходит ее знакопеременный изгиб в поперечном сечении. В частности, в эксперименте использовалась свинцовая полоса длиной 200 мм и с размерами поперечного сечения 20×1,5 мм.

Удлинение при осевой силе 5 кг составило 2–3 мм за один рабочий ход деформирующей головки.

Теоретические и экспериментальные исследования холодной гибки с раскатыванием позволили установить, что реальное снижение изгибающих усилий обеспечивается в 2,5–3,5 раза по сравнению с холодной гибкой без дополнительного воздействия на изгибаемую трубу (рис. 11).

Тем самым подтверждены основные механизмы значительного снижения изгибающего момента при гибке с воздействием на трубу вращающегося раскатника, заведенного в нее с большим натягом.

#### Список литературы

1. Козлов А.В., Хилькевич Я.М. Оценка натягов и усилий при гибке труб с раскатыванием // Вестник ЮУрГУ. 2004. № 5 (34). С. 125–132.
2. Пат. 818707 Российская Федерация, МКИ В 21 D 9/14. Способ гибки труб / С.Г. Лакирев, Я.М. Хилькевич. № 2713945/25; заявл. 17.06.79; опубл. 07.04.81, Бюл. № 13. 3 с.
3. Козлов А.В., Шеркунов В.Г., Хилькевич Я.М. Опыт гибки тонкостенных труб в холодном состоянии // Технология машиностроения. 2008. № 10. С. 21–22.
4. Козлов А.В., Шеркунов В.Г., Хилькевич Я.М. Напряженное состояние в трубе при ее гибке с раскатыванием и парами близко расположенных деформирующих элементов // Вестник машиностроения. 2009. № 8. С. 67–70.

#### List of literature

1. Kozlov A.V., Sherkunov V.G., Khilkevich Ya.M. Tightness and efforts estimation during pipe bending with flaring / Vestnik of SuSU. 2004. № 5 (34). P. 125–132.
2. Pat. 818707 RF, MKI B 21 D 9/14. The method of tube folding / Lakirev S.G., Khilkevich Y.M. № 2713945/25; 17.06.79; published 07.04.81, Bul. № 13. 3 p.
3. Kozlov A.V., Sherkunov V.G., Khilkevich Ya.M. Bending experience of cold thin-walled tubes / Tekhnologiya mashinostroeniya. 2008. № 10. P. 21–22.
4. Kozlov A.V., Sherkunov V.G., Khilkevich Ya.M. Stress condition in a tube at its rolling by N pairs of nearby deforming elements / Vestnik mashinostroeniya. 2009. № 8. P. 67–70.

# НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

УДК 538.95

Каменева А.Л.

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ZrN НА ИХ СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

### Введение

Методы ионно-плазменного распыления (магнетронное, диодное и другие, а также распыление ионным пучком), электродуговое испарение характеризуются направленностью потока пленкообразующих кластеров и неравновесными условиями, что, в зависимости от условий проведения процесса, приводит к различному структурному состоянию формируемых пленок [1]. Осаждение наноструктурированных ионно-плазменных пленок с улучшенными эксплуатационными характеристиками возможно с использованием усовершенствованного вакуумного оборудования, получению детальной информации о процессе формирования наноструктуры пленки при осаждении с применением микроскопии высокого разрешения, анализа состава и дефектности пленок с помощью различных методов: РФЭС, РФА, электронной оже-спектроскопии (ЭОС), сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии (СЭМ и ПЭМ), спектроскопии обратного резерфордского рассеяния (СОРР), электронного микрозондового анализа (ЭМА), спектроскопии аннигиляции позитронов (САП), вторичной ионной масс-спектроскопии (ВИМС), сканирующей туннельной и атомно-силовой микроскопии (СТМ, АСМ), локальной дифракции электронов (ЛДЭ) и др. [2]. За последние десятилетия исследователи добились значительного повышения надежности изделий с

упрочняющими и защитными пленками, были выяснены и устранены многие факторы, ухудшающие потенциальные возможности пленок. Проблема получения наноструктурированных пленок различного назначения практически решена, однако проблема стабилизации свойств указанных пленок находится на стадии совершенствования. Управление структурой, фазовым составом и механическими свойствами формируемых ионно-плазменных пленок возможно при оптимизации технологических параметров процесса осаждения, установлении корреляционных связей последних со структурой и свойствами формируемых пленок.

Целью представляемой работы является исследование влияния соотношения реакционного и инертного газов в газовой смеси на механические свойства, фазовый состав, морфологические особенности и структурные характеристики пленок на основе ZrN, формируемых методом магнетронного распыления.

### Методика проведения эксперимента

Пленки на основе ZrN формировали на автоматизированной установке УРМ3.279.048 электродугового испарения и магнетронного распыления с двух магнетронов с мишенями из циркония марки Э110, работающих от источников постоянного тока, на подготовленной поверхности тестовых образцов из нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Перед технологическим процессом формирования пленки поверхность тестовых образцов подвергали ионной очистке, в процессе которой максимальная температура поверхности ( $T_{max}$ ) соответствовала 651 К. Температуру поверхности конденсации в процессе осаждения пленки поддерживали с помощью резистивного нагревателя, установленного в центральной части вакуумной камеры и контролировали с помощью инфракрасного бесконтактного пирометра «Термикс». Для увеличения адгезионной прочности пленки ZrN осаждали подслоем из циркония, после осаждения которого температура поверхности образца не превышала 613 К ( $T_{max}$ ). Морфологические особенности сформированных пленок исследовали на автоэмиссионном электронном микроскопе Ultra 55. Рентгеноструктурный и рентгенофазовый анализы пленок ZrN проводили с помощью рентгеновского дифрактометра Shimadzu XRD-6000 в  $Cu\ K\alpha$ -излучении. Микротвердость композиции пленка – подложка измеряли микротвердомером ПМТ-3 при нагрузке на индентор 0,5 Н. Пленки на ос-

Таблица 1

Технологические параметры процесса магнетронного распыления

№	Дистанция магнетрон – подложка $L$ , мм	Соотношение газов в газовой смеси $N_2/Ar$ , %	Давление в вакуумной камере $P$ , Па	Напряжение смещения на подложке $U_{см}$ , В	Напряжение на магнетроне $U_{мг}$ , В	Ток на магнетроне $I_{мг}$ , А	Мощность магнетронной системы $N$ , кВт	Максимальная температура поверхности конденсации $T_{max}$ , К	Микротвердость композиции пленка-подложка $H_f$ , ГПа
1	120	30/70	1,0	80	450	4,7	2,12	621	11,0
2	120	35/65	1,0	80	450	4,4	1,98	622	11,0
3	120	40/60	1,0	80	430	4,7	2,02	624	12,0
4	120	50/50	1,0	80	440	4,5	1,98	629	6,0



Таблица 2

## Структурные характеристики пленок на основе ZrN, сформированных магнетронным распылением

№	Соотношение газов в газовой смеси N <sub>2</sub> /Ar, %	Фазовый состав		d <sub>ZrN</sub> /d <sub>ZrN<sub>табл.</sub></sub>	dZrN <sub>0,28</sub> /dZrN <sub>0,28табл.</sub>	I <sub>ZrN</sub>	maxI <sub>111</sub>	maxI <sub>002</sub>
		ZrN	ZrN <sub>0,28</sub>	нм	нм	I <sub>ZrN0,28</sub>	I <sub>Σ</sub>	I <sub>Σ</sub>
1	30/70	0,310	0,690	0,2698/0,2673	0,2619/0,2588	0,19	0,108	0,564
2	35/65	0,590	0,410	0,2679/0,2673	0,2603/0,2588	1,25	0,417	0,328
3	40/60	0,601	0,399	0,2679/0,2673	0,2614/0,2588	1,83	0,456	0,246
4	50/50	0,495	0,505	0,2679/0,2673	0,2600/0,2588	0,83	0,405	0,453

dZrN/dZrN<sub>табл.</sub> – межплоскостное расстояние ZrN; I<sub>ZrN</sub>/I<sub>ZrN<sub>0,28</sub></sub> – отношение интенсивностей всех рефлексов кубической ZrN и гексагональной ZrN<sub>0,28</sub> фазы; maxI<sub>111</sub>/I<sub>Σ</sub> и maxI<sub>002</sub>/I<sub>Σ</sub> – отношение максимальных интенсивностей рефлексов (111) и (002) к суммарной интенсивности рефлексов всех фаз ZrN

нове ZrN формировали при различном соотношении реакционного и инертного газов в газовой смеси, технологические параметры процесса магнетронного распыления приведены в табл. 1, структурные характеристики и механические свойства сформированных пленок на основе ZrN – в табл. 2.

## Результаты эксперимента и обсуждение

С использованием рентгенофазового анализа полученных дифрактограмм (рис. 1) установлено, что поликристаллическая составляющая пленки представлена двумя фазами: ZrN с кубической решеткой типа NaCl с параметром a = 0,463 нм и фазы ZrN<sub>0,28</sub> с гексагональной решеткой типа Mg, с параметрами a = 0,322 нм и c = 0,518 нм. На рис. 2 представлен сравни-

тельный спектр фрагментов дифрактограмм полученных образцов пленок.

Выявлено, что изменение процентного соотношения азота и аргона в газовой смеси не влияет на фазовый состав пленки. Зерна кубической фазы ZrN имеют преимущественную кристаллографическую ориентировку (111), гексагональной фазы ZrN<sub>0,28</sub> – (002). При сравнении соотношения интенсивностей рефлексов фаз (111)ZrN (угол 2θ ~33,45°) и (002)ZrN<sub>0,28</sub> (угол 2θ ~34,3°) на дифрактограмме рис. 1, б и объемных долей фаз в пленках (см. табл. 1) установлено, что при соотношении газов N<sub>2</sub>/Ar=40/60% формируется пленка с наибольшим количеством стехиометрической кубической фазы ZrN; максимальной относительной долей в пленке зерен, ориентированных в направлении (111), и минимальной –

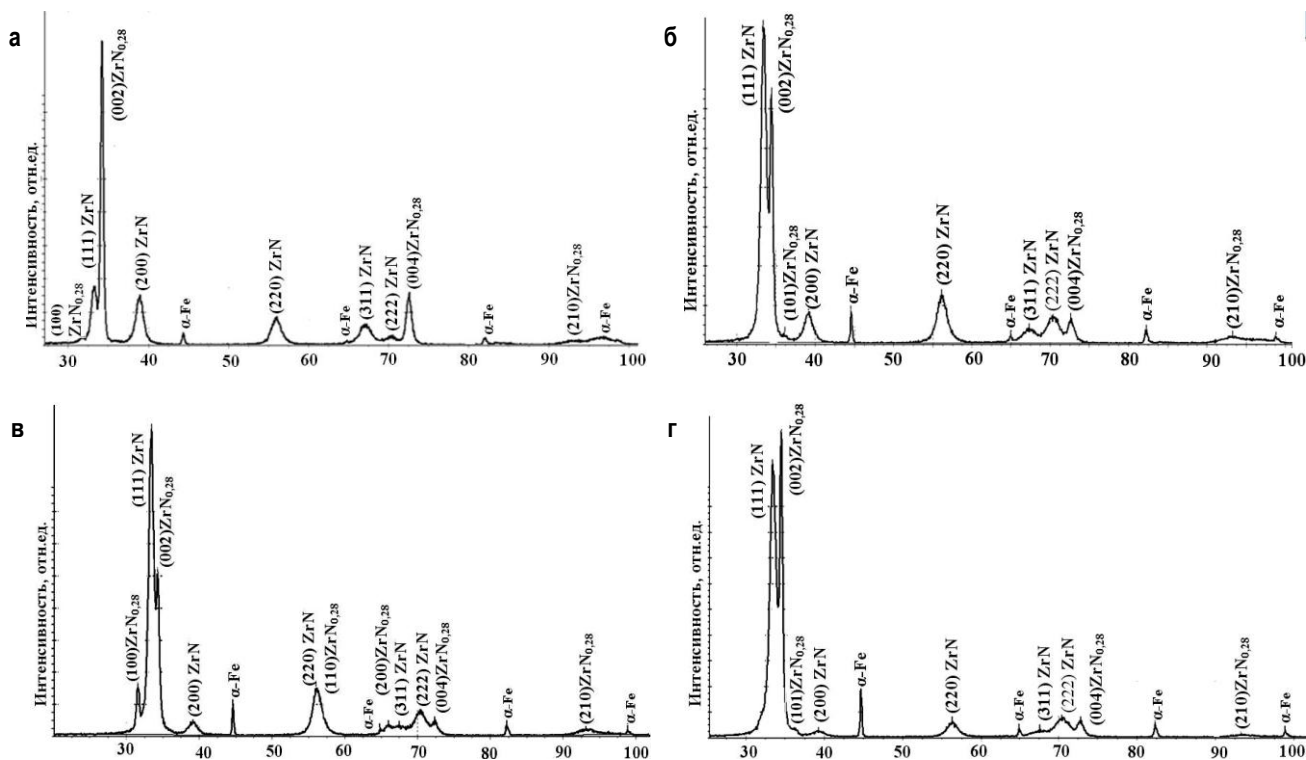


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы (Cu Kα-излучение) пленок на основе ZrN, полученных при различном соотношении газов в газовой смеси N<sub>2</sub>/Ar: а – 30/70%=0,43; б – 35/65%=0,54; в – 40/60%=0,67; г – 50/50%=1,00

в направлении (002); наибольшей микротвердостью композиции пленка – подложка 12 ГПа. Пленка с минимальной микротвердостью 6 ГПа и минимальной толщиной (т.к. выше интенсивность пика подложки  $\alpha$  – Fe ( $2\theta \sim 44,7^\circ$ )) формируется при соотношении газов  $N_2/Ar=50/50\%$ , примерно одинаковых объемных долях

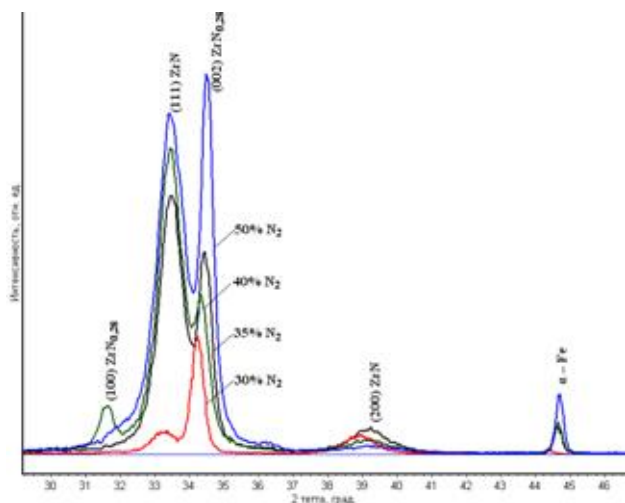


Рис. 2. Сравнительный спектр фрагментов дифрактограмм образцов пленок на основе ZrN, полученных магнетронным распылением при различном соотношении подаваемых газов аргона и азота:  $N_2/Ar$  – 30/70%=0,43, 35/65%=0,54, 40/60%=0,67, 50/50%=1,00

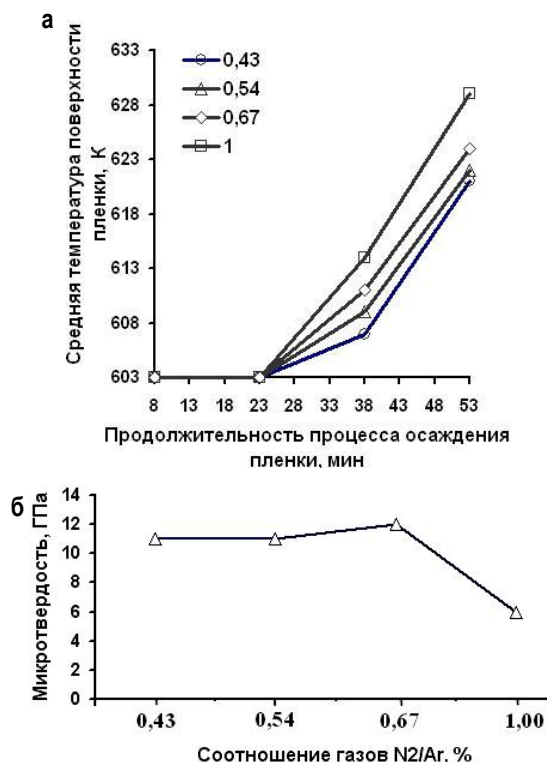


Рис. 3. Зависимости температуры поверхности конденсации в процессе магнетронного распыления (а) и микротвердости композиции пленка-подложка (б) от соотношения газов  $N_2/Ar$  газовой смеси, %: 30/70 = 0,43; 35/65 = 0,54; 40/60 = 0,67; 50/50 = 1,00

фаз стехиометрического и нестехиометрического нитрида циркония в пленках, оптимальном соответствии среднего размера зерен табличным значениям, но при минимальной относительной доле в пленке зерен, ориентированных в направлении (111), и максимальной – в направлении (002). Толщина пленки наибольшая при подаче 30%  $N_2$ . Можно заключить, что пленки будут формироваться в направлении (111) при соотношении газов  $N_2/Ar=40/60\%$  и в направлении (002) – при  $N_2/Ar=50/50\%$  с самой низкой энергией в случае, если определяющим фактором процесса формирования пленки является поверхностная энергия [3].

Для изучения условий сохранения роста зерен в направлении преимущественной кристаллографической ориентации определяли температуру поверхности конденсации в процессе осаждения пленки пирометрическим способом (рис. 3). Установлено, что температура поверхности конденсации с увеличением продолжительности процесса осаждения пленки при всех соотношениях газов не только поддерживается постоянной, но и незначительно увеличивается ~ на 40 К. Поэтому можно утверждать, что подвижности атомов на поверхности подложки достаточно, чтобы обеспечить сохранение преимущественного ориентирования зерен в процессе формирования пленки и степени ее текстурированности. Микротвердость же композиции пленка – подложка при созданных технологических условиях в большей степени зависит от содержания азота в газовой смеси. На рис. 3 приведены зависимости температуры поверхности конденсации и микротвердости композиции пленка – подложка от продолжительности процесса осаждения пленки.

Морфологические исследования сформированных пленок показали, что на поверхности сплошной пленки при всех соотношениях газов формируются структурные образования в виде полос различной протя-

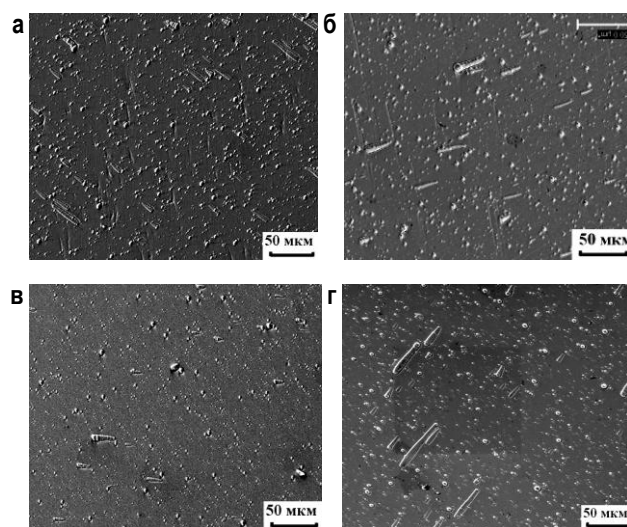


Рис. 4. Структурные образования в виде плоских и пространственных полос на поверхности пленок, сформированных при различном соотношении реакционного и инертного газов  $N_2/Ar$ , %: а – 30/40; б – 35/65; в – 40/60; г – 50/50

женности (рис. 4). Следует отметить, что минимальная величина объемных образований соответствует соотношению  $N_2/Ar = 40/60\%$ .

Результаты морфологических исследований при большом увеличении позволили установить стадии роста пленок на основе ZrN и их различные структурные состояния, формируемые в неравновесных условиях магнетронного распыления при изменении концентрации реакционного газа азота:

- Единичные образования с глобулярной структурой различной направленности, распределенные статически равномерно по поверхности текстурированной пленки (рис. 5). Вершины глобул имеют сглаженную куполообразную форму. Следует отметить, что при одинаковом количестве реакционного и инертного газов в смеси глобулярный рост пленки происходит по спирали и размер глобул максимален.

- Объединение глобулярных структур в ансамбли (рис. 6). При процентном содержании азота в газовой смеси 30 и 35% шероховатость сплошной пленки развивается до фрактальной геометрии (рис. 7, а, б), при 40 и 50% формируется пленка с различной степенью текстурированности (рис. 7, в, г).

- Конкурентный рост пленки (рис. 8). Выявлено, что в условиях, далеких от термодинамического равновесия, микроструктура в процессе осаждения типично развивается конкурентно, вследствие чего происходят непрерывные изменения морфологии, текстуры, топографии поверхности пленки.

Морфологические исследования на туннельном микроскопе «Умка» выявили, что микрокристаллиты ZrN в пленке, осажденной при 40% азота, имеет сложную двухуровневую структуру. Зерна субмикронного размера (0,1–0,3 мкм) фрагментированы на области размером 10–15 нм (рис. 10).

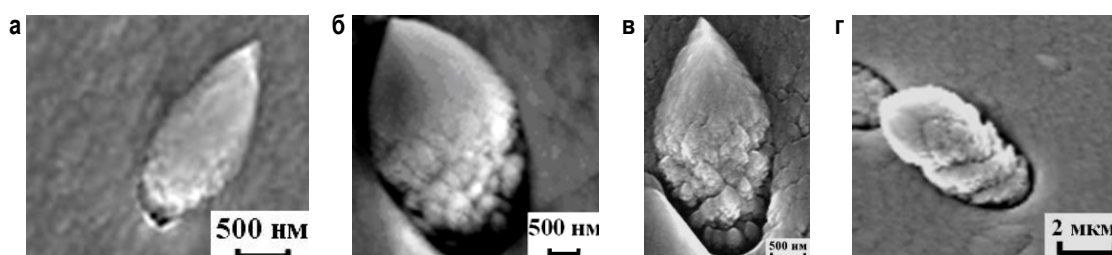


Рис. 5. Структурные образования с глобулярной структурой на поверхности текстурированных пленок, сформированных при различном соотношении реакционного и инертного газов  $N_2/Ar$  (%) с различной направленностью и высотой: а – 30/40 ~ 2 мкм; б – 35/65 ~ 4 мкм; в – 40/60 ~ 3 мкм; г – 50/50 ~ 6 мкм

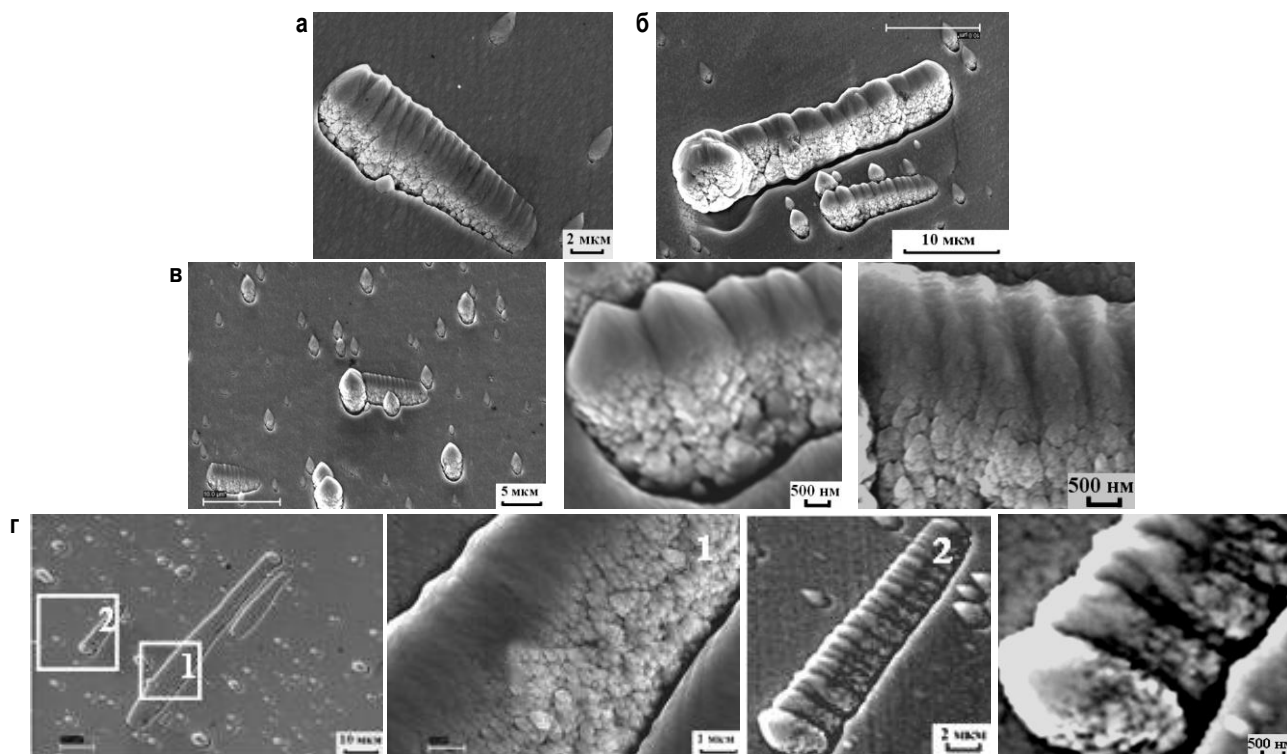


Рис. 6. Ансамбли глобулярных структур пленок в виде объемных полос на поверхности пленок, сформированных при различном соотношении реакционного и инертного газов  $N_2/Ar$  (%) с различной направленностью и высотой: а – 30/40 – плоские полосы до ~ 41 мкм, объемные – до ~ 18 мкм; б – 35/65 – объемные полосы – до ~ 30 мкм; в – 40/60 – объемные полосы – до ~ 18 мкм; г – 50/50 – объемные полосы – до ~ 67 мкм



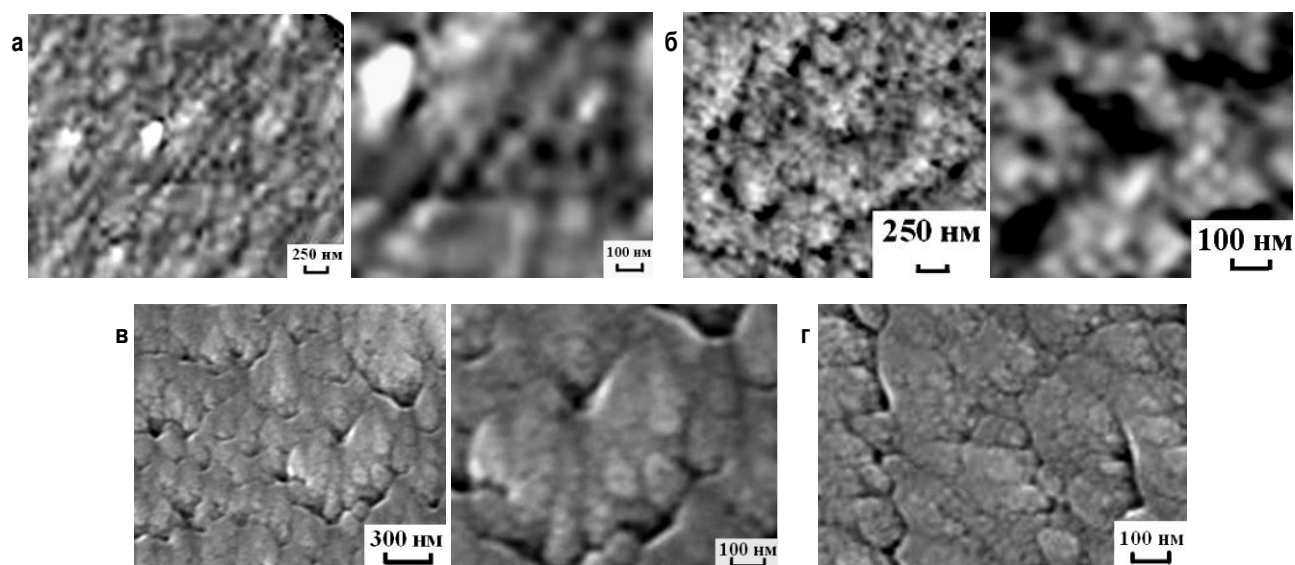


Рис. 7. Фрактальная структура поверхности сплошной пленки, сформированной при:  
 а – 30% азота; б – 35%; текстурированная пленка при в – 40% и г – 50% содержании азота в газовой смеси

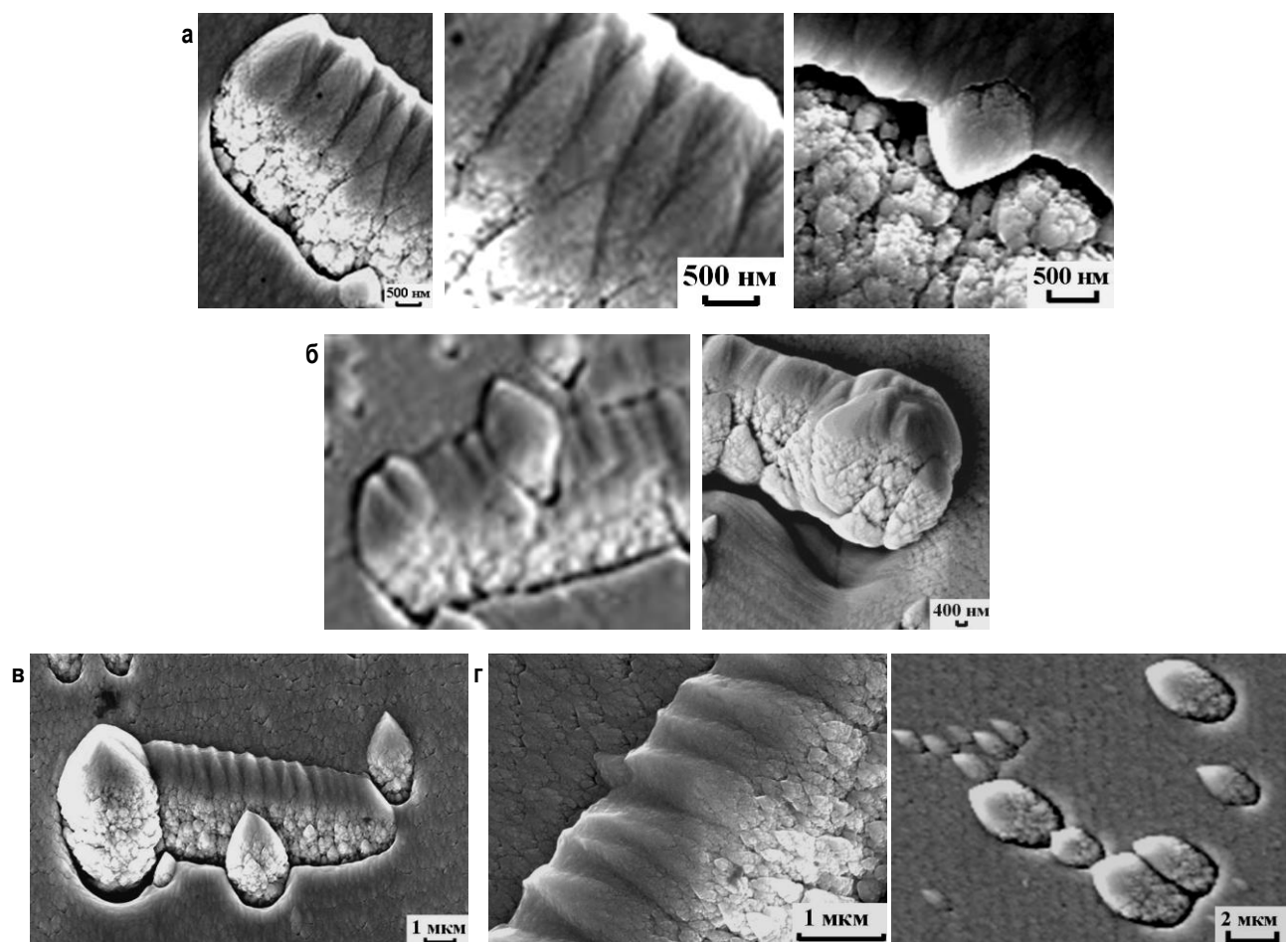


Рис. 8. Конкурентный рост пленки при увеличении продолжительности процесса осаждения пленки с различным соотношением реакционного и инертного газов  $N_2/Ar$  (%):  
 а – 30/40; б – 35/65; в – 40/60; г – 50/50



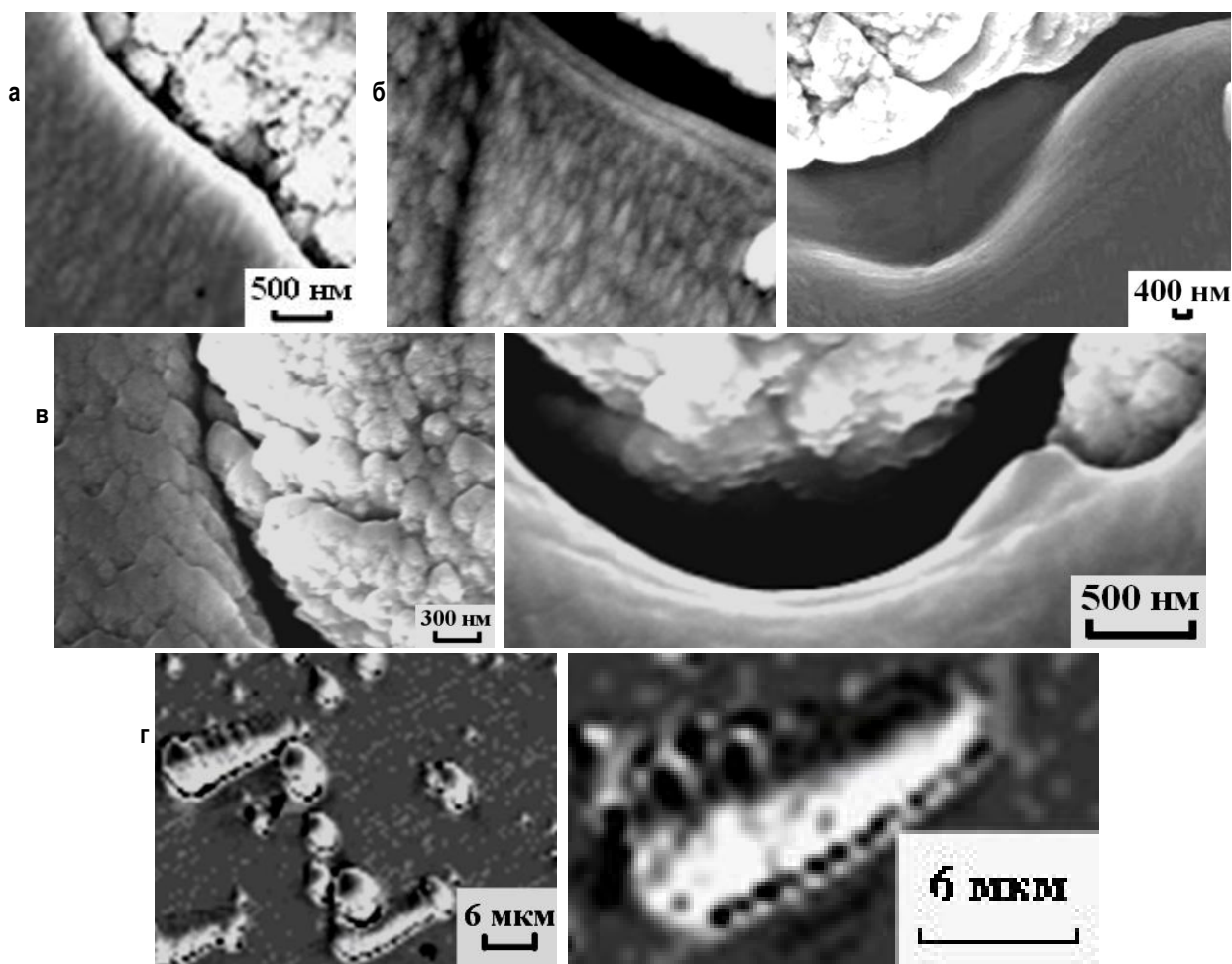


Рис. 9. Граница раздела между различными структурными состояниями пленки, сформированной при различном соотношении реакционного и инертного газов  $N_2/Ar$  (%): слоистая структура: а – 30/40; б – 35/65; в – 40/60; трубчатая структура: г – 50/50

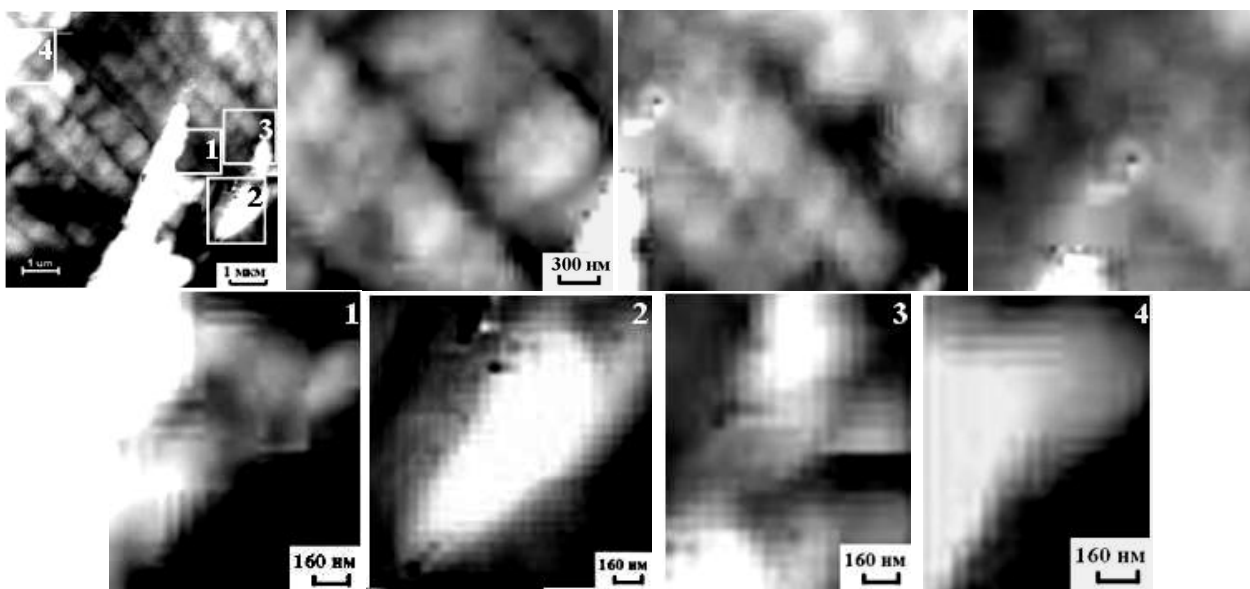


Рис. 10. Морфологические особенности пленки ZrN с увеличенными фрагментами, сформированной при соотношении газов 40/60%  $N_2/Ar$

**Заключение**

Специфика структурообразования пленок в условиях магнетронного распыления такова, что на начальной стадии происходит формирование глобулярных образований, а на последующих стадиях ансамблей глобулярных структур. Особенности строения пленок на каждом этапе отражают как фундаментальные свойства своеобразных «двумерных» термодинамических систем, так и конкретные свойства осаждаемого вещества и особенности различных факторов его взаимодействия с материалом подложки (смачивание, анизотропия, неоднородность самой поверхности и другие). Несомненно, определенное влияние могут оказывать различные свойства поверхности, на которую происходит осаждение пленки, на различных этапах ее формирования [4].

Установлено, что анизотропия скоростей формирования пленок ZrN магнетронным распылением по различным направлениям велика и, как следствие, увеличение неоднородностей условий формирования для различных участков пленок приводит к образованию различных поверхностных структур: дендритной и фрактальной – при содержании азота в газовой смеси – 30 и 35%, трубчатой на границе раздела различных структурных состояний пленки, волокнистой (столбчатой) и поликристаллической структуры – при 40%. Наименее неравновесные условия формирования пленки характерны для 40% концентрации азота в газовой смеси, при которой выявлена наименьшая анизотропия скоростей формирования по различным направлениям.

**Список литературы**

1. Белянин А.Ф., Самойлович М.И. Тонкие пленки алмазоподобных материалов как наноструктурированные системы. М.: ОАО ЦНИТИ "Техномаш", 2006. 241 с.
2. Андриевский Р.А. Синтез и свойства пленок фаз внедрения // Успехи химии. 1997. 66, 1, 57.
3. Трибомеханические свойства и структура нанокompозитных покрытий Ti1-xAlN/ В.П. Сергеев, М.В. Федорищева, А.В. Воронов и др. // Изв. Томск. политех. ун-та. 2006. Т. 309. № 2. С. 149–153.
4. Особенности формирования наноструктурированных пленок иридия и поликластерного алмаза / А.Ф. Белянин, М.И. Самойлович, Н.Н. Дзбановский и др. // Высокие технологии в промышленности России: материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф. (Москва, 6-8 сент. 2007 г.). М.: Изд-во ОАО ЦНИТИ «Техномаш», 2007. С. 22.

List of literature

1. Belyanin A.F., Samoylovich M.I. Thin films of diamond-like materials as nanostructured system // Collective monography «Nanomaterials». Moscow: OJSC Central Research Technological Centre «Technomash», 2006. P. 241.
2. Andrievsky R.A. Synthesis of interstitial alloys films and their behaviours // Chemistry success. 1997. 66, 1, 57.
3. Tribomechanical behaviours and structure of nanocomposite coating Ti1-xAlN // V.P.Sergeev, M.V. Fedorisheva, A.V. Voronov and others // Proceedings of Tomsk polytechnic university. 2006. T. 309. № 2. P. 149–153.
4. Form habits of iridium nanostructured films and highly clustered diamond // A.F. Belyanin, M.I. Samoylovich, N.N. Dzbanovsky and others // High tech in Russia industry: Materials of XIII International scientific and technical conference (Moscow, 6–8 September 2007). Moscow: Publishing house of ОАО Central Research Technological Centre «Technomash», 2007. С. 22.

## СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

УДК 621.11.01

Калмыков Ю.В., Михайловский И.А., Сальников В.В., Пестерев Д.А.

### АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ ФОРМИРОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ПРИ СБОРКЕ ШАРОВЫХ ШАРНИРОВ ПЕРЕДНЕЙ ПОДВЕСКИ АВТОМОБИЛЕЙ

Шаровые шарниры передней подвески обеспечивают шарнирное соединение рычагов передних подвесок с поворотными кулаками и осуществляют передачу от колес к кузову всех видов нагрузок, возникающих при движении автомобиля, с одновременным поворотом и вертикальными ходами управляемых колес [1].

Сборочное соединение шарового шарнира, объединяющее элементы шарнира в функциональный узел, должно обладать требуемыми прочностными характеристиками, заложенными в конструкторской документации. Выполнение этих требований обеспечивает требуемый уровень безопасности при эксплуатации транспортного средства.

Одно из требований к соединению шарниров – герметичность соединения, оно должно исключать попадание в пару трения влаги и абразивных частиц.

В зависимости от конструкции шарового шарнира к сборочному соединению могут предъявляться различные дополнительные требования, такие как обеспечение заданного усилия вырыва шарового пальца, усилия выдавливания шарового пальца и др. Для одних из наиболее распространенных в России шаровых шарниров (для автомобилей ВАЗ 2108–2115, 1117–1119 Калина, 2170–2172 Приора) основные требования представлены ниже:

- угол качания шарового шарнира должен находиться в пределах 1,96–7,85 Н·м (в зависимости от типа шарнира) [2];
- момент сопротивления при вращении и качании пальца должен находиться в пределах 1,96–7,85 Н·м (в зависимости от типа шарнира) [2];
- усилие вырыва шарового пальца из корпуса не менее 20 600 Н [3];
- сила выдавливания шарового пальца из корпуса не менее 29 450 Н [3];
- изгиб шарового пальца при приложении кинетической энергии 157 Н·м в пределах 2,5–3,2 мм [2].

В настоящее время известны следующие способы соединения шарниров: резьбовое (РВ), закатка снизу (КН), запрессовка снизу (ПН), закатка сверху (КВ), запрессовка сверху (ПВ).

Одна из первых конструкций шарового шарнира с

цельноштампованным корпусом включала в себя резьбовое соединение составных частей (рис. 1) [4].

При изготовлении шарнира с соединением РВ используются 4 элемента: шайба, вкладыш, корпус и палец. Отличительной особенностью такого соединения является наличие резьбы на корпусе шарового шарнира и на шайбе.

Процесс сборки данных шаровых шарниров представляет собой ряд последовательно выполняемых операций. Изначально производится предварительная сборка вкладыша с пальцем. Для снижения износа деталей в процессе эксплуатации в пару трения вкладыш-палец закладывается смазка. Подсобранный узел устанавливается в корпус. Заключительная операция сборки – вкручивание шайбы в корпус шарового шарнира. Закрутка производится до получения необходимых моментов качания и вращения.

Несомненным преимуществом описанного технологического процесса является простота выполняемых операций, также для изготовления шарниров не требуется приобретение сложного дорогостоящего оборудования.

К недостаткам следует отнести наличие дополнительных операций формирования резьбы повышенной точности на шайбе и корпусе, что ведет к повышению

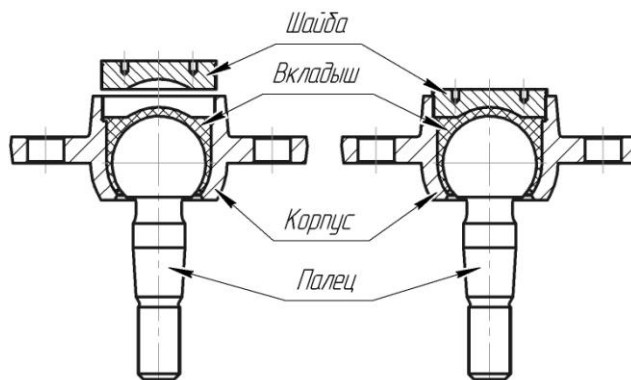


Рис. 1. Шаровой шарнир с соединением РВ до и после операции сборки

стоимости конечного изделия, а высокая вероятность возникновения дефектов резьбы усложняет (или делает невозможной) сборку соединения. Операция сборки соединения РВ, по сравнению со сборкой прочих соединений шаровых шарниров, занимает существенно больше времени, а само соединение не обеспечивает герметичности шарнира без применения специальных средств (уплотнительных колец, резьбовых герметиков и пр.).

Поскольку момент сопротивления качанию и вращению зависит от количества витков в зацеплении корпус-шайба, то усилие выдавливания шарового пальца из корпуса со стороны вкрученной шайбы не одинаково. Таким образом, прогнозирование значения осевого усилия, при котором произойдет разрушение соединения в процессе эксплуатации автомобиля, становится сложной задачей.

Шаровые шарниры с соединением РВ в настоящее время практически не используются. Дополнительные операции формирования резьбы на корпусе и шайбе шарнира отрицательно сказываются на себестоимости продукции, а большие габаритные размеры и масса изделия вынуждают конструкторов искать более совершенные технические решения.

Более широкое распространение получил способ сборки шарового шарнира КН (рис. 2) [5, 6].

Как и в шарнире с соединением РВ, в шарнире с соединением КН присутствуют основные элементы – палец, вкладыш и корпус. Конструкция вкладыша и корпуса изменена. Как видно из рис. 2, шайба в дан-

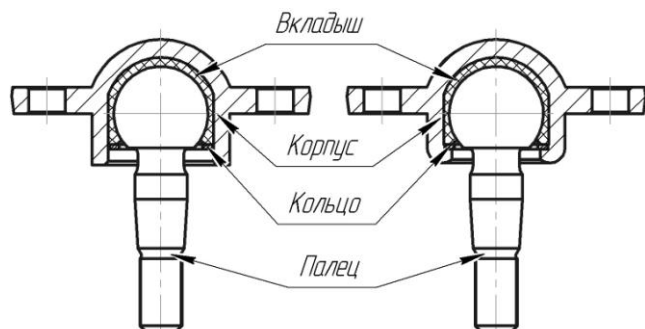


Рис. 2. Шаровой шарнир с соединением КН до и после сборки

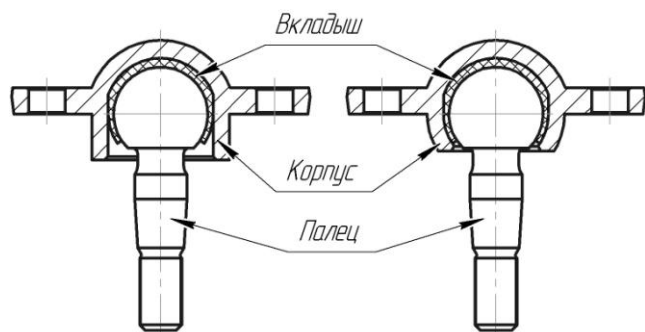


Рис. 3. Шаровой шарнир с соединением ПН до и после сборки

ной конструкции отсутствует, однако введен дополнительный элемент – кольцо.

При сборке шарнира КН палец подсобирается с вкладышем с нанесением смазки. Собранный элемент устанавливается в корпус, на вкладыш кладут кольцо и производят закатку.

Изготовление корпуса для шарнира КН является технологически сложной операцией. Проблема заключается в том, что корпус не имеет сквозного отверстия, а это затрудняет механическую обработку его сферической полости.

Конструкция корпуса, предназначенного для данной операции сборки, включает в себя массивные (толщиной до 3 мм) стенки под закатку. Оборудование для закатки металла такой толщины не распространено и имеет высокую стоимость. Расходные детали, такие как закатная головка, ось и закатные ролики, имеют сложную форму, требуют высокой точности изготовления и производятся из высококачественных марок инструментальных сталей, что существенно сказывается на их цене.

Также при закатке происходит нагрев детали. Поскольку вкладыш выполнен из неметаллического материала, при воздействии температуры он нагревается, деформируется от приложения нагрузки, момент сопротивления качанию и момент сопротивления вращению шарового шарнира в корпусе плохо прогнозируются. Однако благодаря особой конструкции корпуса выдавить палец из корпуса не представляется возможным.

Шарниры КН не получили большой популярности. Сложности возникают с механической обработкой корпуса. Такая конструкция используется, как правило, на автомобилях с повышенной осевой нагрузкой (эксплуатируемых на пересеченной местности).

Соединение шарнира ПН (рис. 3) выгодно отличается отсутствием кольца от соединения КН [7–9]. Технологический процесс сборки шарнира: первоначально собирается вкладыш с пальцем с нанесением на сферу смазки. На следующем этапе палец с вкладышем устанавливается в корпус. Последующая операция – запрессовка. Во время ее выполнения формируются основные характеристики шарнира.

Для осуществления процесса сборки необходимо наличие прессового оборудования. Геометрическая форма задается контуром деформирующего инструмента – пуансона. Пуансон оказывает давление на кромки корпуса, которые под действием прикладываемого к ним усилия деформируются. Стойкость инструмента, по сравнению с закатными машинами, значительно выше. Количество элементов по сравнению с другими способами минимально.

Операция запрессовки более производительна по сравнению с операцией закатки, при этом существенно менее интенсивно происходит нагрев пластикового вкладыша, чем при закатке.

К недостаткам сборки шаровых шарниров ПН следует отнести деформацию вкладыша во время осуществления операции. При запрессовке внутренняя сторона стенки корпуса принимает отличный от



сферы контур. Площадь контакта вкладыша с корпусом становится меньше, и давление на трущиеся поверхности при этом возрастает.

Конструкция корпуса незначительно отличается от корпуса для соединения КН, при этом остается его проблема с механической обработкой.

При эксплуатации шарнир, собранный соединением ПН, будет аналогичен шарниру с соединением КН. Отличительной особенностью будет усилие вырыва шарового пальца из корпуса, которое при прочих равных условиях ниже, чем у шарнира КН. Этот факт обуславливается отсутствием жесткого элемента – кольца.

Шаровой шарнир данной конструкции практически не применяется. Это связано с технологическими сложностями при механической обработке корпуса и запрессовке его массивных стенок. Деформация вкладыша неблагоприятно сказывается на распределении нагрузки внутри шарнира, тем самым снижая его ресурс.

Одним из наиболее распространенных в настоящее время способов сборки шаровых шарниров является способ КВ. Соединение шарового шарнира КВ изображено на рис. 4.

В состав шарнира [10], собираемого данным образом, входит палец, корпус, вкладыш и шайба. Отличительная особенность данной конструкции – отсутствие резьбового соединения на корпусе и шайбе.

Сборочный процесс состоит из следующих операций: сборка пальца с вкладышем с применением смазки, установка в корпус, установка шайбы, закатка корпуса.

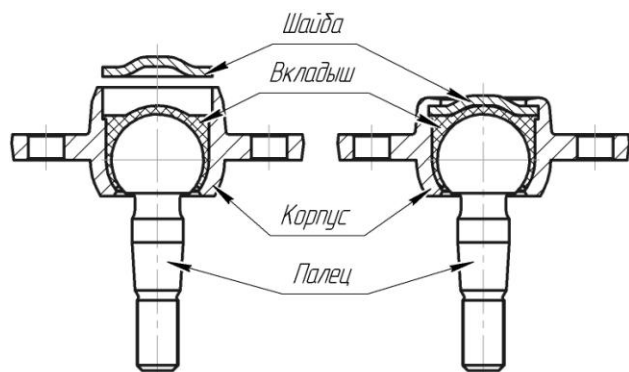


Рис. 4. Шаровой шарнир с соединением КВ до и после сборки

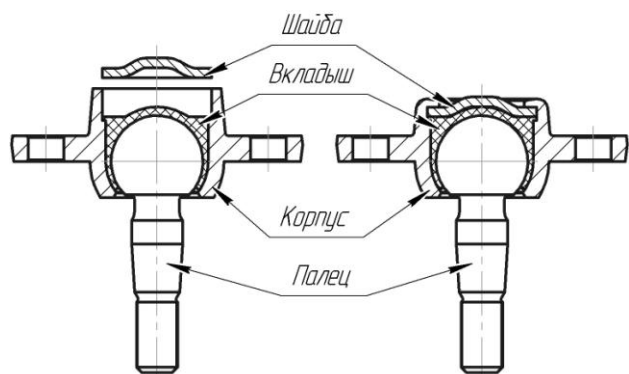


Рис. 5. Шаровой шарнир с соединением ПВ до и после сборки

### Балльная оценка способов сборки шаровых шарниров

Критерий	Способ соединения шарнира				
	РВ	КН	КВ	ПН	ПВ
Затрачиваемое время на сборку	1	3	2	3	2
Затраты на инструмент при серийном производстве	3	2	2	3	3
Наличие нагрева при сборке	3	2	2	3	3
Стабильность характеристик после изготовления	3	2	2	2	2
Сложность (трудоемкость, точность) изготовления комплектующих	1	1	2	1	2
Себестоимость	1	1	2	1	2
СУММА БАЛЛОВ	12	11	12	13	14

Сложность обработки корпуса в данном случае ниже в сравнении с корпусами шаровых шарниров, рассмотренных ранее. Однако стоимость оборудования и инструмента для закатки сравнительно высока.

При эксплуатации шарнира данной конструкции появляется потенциальная возможность выдавливания пальца из корпуса шарнира.

Шаровой шарнир КВ нашел свое применение. Как правило, такой способ соединения шарнира выбирают при невозможности осуществления запрессовки.

Наиболее перспективным способом сборки шаровых шарниров из существующих в настоящее время представляется способ ПВ (рис. 5) [11].

Технологический процесс сборки выполняется в 3 этапа. Производится предварительная сборка вкладыша с пальцем, для снижения износа деталей в процессе эксплуатации в пару трения вкладыш–палец закладывается смазка. После этого в корпус устанавливается палец с вкладышем и шайба, производится запрессовка.

Данный способ соединения шарниров нашел свое применение, в том числе и при производстве для автосборочных конвейеров. Это обуславливается рядом его преимуществ: выгодная производительность сборки шарнира; отсутствие потребности в специфическом оборудовании; высокая стойкость оснастки.

У каждого из описанных способов соединения шаровых шарниров есть свои достоинства и недостатки. Для определения наиболее подходящего способа сборки была проведена оценка по 3-балльной системе каждого из них.

В качестве критериев были взяты: затрачиваемое время на сборку, затраты на инструмент при серийном производстве, наличие нагрева при сборке, стабильность характеристик после изготовления, сложность (трудоемкость, точность) изготовления комплектующих и себестоимость. Результаты сравнения способов соединения шаровых шарниров приведены в таблице.

По результатам сравнения 5 различных типов соединения шаровых шарниров наилучшим представляется способ соединения ПВ, что свидетельствует о возможности его более широкого использования в отечественном машиностроении.

Список литературы

1. Гун И.Г. Совершенствование технологической системы изготовления шаровых шарниров. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000.
2. ОСТ 37.001.613-2002. Шарниры шаровые автотранспортных средств. Общие технические требования и методы испытаний. М., 2002.
3. ГОСТ Р 52433-2005. Автомобильные транспортные средства. Шарниры шаровые. Технические требования и методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2006.
4. Пат. RU 2080497 C1. Способ изготовления шарового шарнира / В.П. Недиков.
5. Пат. RU 2151926 C1. Шаровой шарнир и способ его сборки / А.Г. Ситковский, А.Н. Падучин, И.Б. Короткевич.
6. Пат. RU 2149289 C1. Шаровой шарнир / И.Г. Гун, О.С. Железков и др.
7. Пат. RU 2121613 C1. Универсальный шаровой шарнир Недикова / В.П. Недиков.
8. Пат. RU 33188 U1. Шаровой шарнир В. Недикова / В.П. Недиков.
9. Пат. RU 2239106 C1. Шаровая опора транспортного средства / В.П. Недиков.
10. Пат. RU 2296249 C1. Шаровой шарнир / И.Г. Гун, Ю.В. Калмыков и др.

ков и др.

11. Пат. RU 2280788 C1. Шаровой шарнир / И.Г. Гун, Ю.В. Калмыков и др.

List of literature

1. Gun I.G. Improvement of the technological system of ball joint manufacture. M. Publishing house of MGTU named after N.E. Bauman, 2000.
2. GOST 37.001.613-2002. Vehicle ball joints. General technical requirements and testing methods. M., 2002.
3. GOST P 52433-2005. Vehicles. Ball joints. Technical requirements and testing methods. M.: Standardinform, 2006.
4. Pat. RU 2080497 C1. Method of ball joint manufacturing / V.P. Nedikov.
5. Pat. RU 2151926 C1. Ball joint and its assembly method / A.G. Sitkovsky, A.N. Paduchin, I.B. Korotkevich.
6. Pat. RU 2149289 C1. Ball joint / I.G. Gun, O.S. Zhelezkov, et al.
7. Pat. RU 2121613 C1. Nedikov's universal ball joint / V.P. Nedikov.
8. Pat. RU 33188 U1. V. Nedikov's ball joint / V.P. Nedikov.
9. Pat. RU 2239106 C1. Vehicle ball joint / V.P. Nedikov.
10. Pat. RU 2296249 C1. Ball joint / I.G. Gun, Yu.V. Kalmykov, et al.
11. Pat. RU 2280788 C1. Ball joint / I.G. Gun, Yu.V. Kalmykov, et al.

УДК 621.88:658.56

Рубин Г.Ш., Вахитова Ф.Т., Лебедев В.Н., Гусева Е.Н., Шишов А.А.

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ МЕТИЗНОЙ ПРОДУКЦИИ, ОСНОВАННЫЙ НА НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВАХ\*

Метизы – металлические изделия разнообразной номенклатуры широкого промышленного назначения, к которым условно относят продукцию высокого передела черной металлургии. Структура сквозной технологии производства метизной продукции представляет собой последовательность следующих технологических переделов: производство чугуна; производство стали; производство проката; глубокая переработка, в том числе метизное производство.

Представление технологического процесса производства метизной продукции с позиции детерминированного подхода означает, что если состояние системы  $S$  изменяется таким образом, что в любой момент  $t$  оно может быть описано конечномерным вектором  $x$ , то можно предположить, что состояние данной системы в любой момент  $s+t$ ,  $s>0$ , может быть представлено в виде некоторой функции следующей пары аргументов: состояния в момент  $t$  и текущего времени  $s$  [1], то есть

$$x(s+t) = g(x(t), s).$$

Предположение о том, что настоящее состояние системы полностью определяет ее будущие состояния, является чрезвычайно ограничительным. При таком предположении все величины и модели, описывающие

их, принимаются полностью детерминированными, что не соответствует реальной ситуации. Детерминированный подход не учитывает особенностей металлургического производства, полностью игнорируя вероятностную составляющую технологии и свойств. Это обстоятельство побуждает к построению других типов математических моделей и рассмотрению процессов как неопределенных (недетерминированных).

Исторически в математике сложилось три способа отражения неопределенности: статистический, стохастический, нечеткий.

Существенным преимуществом теории вероятностей является многовековой исторический опыт использования вероятностей и логических схем на их основе. Классическая вероятность аксиоматически определена как характеристика генеральной совокупности статистически однородных случайных событий. Однако когда неопределенность относительно будущего состояния объекта исследования теряет черты статистической неопределенности (отсутствует статистическая однородность), то применение в анализе классической вероятности, как измеримой в ходе испытаний характеристики массовых процессов, оказывается незаконным. В этом случае современная теория принятия решений эффективно использует аппарат нечеткой логики и нечетких множеств.

Достижением теории нечетких множеств является введение так называемых нечетких чисел как нечет-

\* В работе принимали участие Носов А.Д., Чукин В.В.

ких подмножеств специализированного вида, соответствующих высказываниям типа "значение переменной примерно равно  $a$ ". С их введением оказалось возможным прогнозировать будущие значения параметров, которые ожидаемо меняются в установленном расчетном диапазоне. В этом случае от лица, принимающего решения, уже требуется не формировать точечные вероятностные оценки, а задавать расчетный коридор значений прогнозируемых параметров. Ожидаемый эффект оценивается экспертом также как нечеткое число со своим расчетным разбросом (степенью нечеткости). Исследователь оперирует не косвенными оценками (куда относятся и вероятности), а прямыми проектными данными о разбросе параметров, что является неоспоримым инженерным преимуществом данного метода.

Партию однородной продукции (определенный вид метизных изделий) можно характеризовать набором численных параметров, аналогичных характеристикам отдельного образца этой продукции. Партия продукции, как объект управления, – это вектор параметров  $\vec{x}$ . Диапазон изменения отдельного компонента этого вектора  $x_i$  определяется физической природой показателя, который характеризуется этим параметром, и особенностями изучаемой продукции. Например, диапазон изменения возможных диаметров катанки определяется сложившейся технологией металлургического передела. Размерность вектора  $\vec{x}$  – это количество контролируемых и управляемых параметров. Предлагаемый подход не требует ограничения размерности вектора  $\vec{x}$ , то есть количества параметров изучаемой продукции.

Однако набор численных параметров всё ещё недостаточно полно характеризует партию однородной продукции. Все измеряемые или вычисляемые параметры в реальности не могут быть определены однозначно, а лишь с некоторой степенью определённости. При производстве метизной продукции степень определённости зависит от ряда факторов [2]:

- ошибки контрольно-измерительных приборов, от которых непосредственно зависит точность значений измеряемых величин;
- выборочность контроля. Полученные результаты не могут полностью охарактеризовать всю партию металла, так как ее реальные характеристики имеют некоторый диапазон разброса относительно измеренного значения;
- факторы субъективного характера: квалификация специалистов, производящих измерения, стремление поставщика улучшить показатели продукции и другие;
- изначальный разброс значений параметров исходной заготовки, обусловленный, в частности, металлургическим переделом (неоднородностью в слитке);
- недетерминированность всех операций технологического процесса, обусловленная температурой, износом рабочего инструмента, человеческим фактором и т. д.

Совокупность этих факторов может быть охарактеризована степенью неопределённости  $\mu_i(x_i)$  для каждого компонента  $x_i$  вектора  $\vec{x}$ .

Таким образом, параметры партии продукции, как объекты управления, следует рассматривать как элементы нечёткого множества с функцией принадлежности  $\mu_i$ .

Каждый передел, с точки зрения изменения параметров партии, можно рассматривать как отображение  $\varphi$  пространства параметров одного вида продукции в пространство параметров того же или другого вида. Например, пространства параметров катанки в пространство параметров проволоки, пространство параметров проволоки в себя на дальнейших переделах. Однако процесс переработки продукции также не является строго детерминированным, что обусловлено, как отмечалось ранее, нестабильностью физических параметров процесса обработки, особенностями применяемого инструмента, человеческим и другими факторами. Таким образом, преобразование параметров в процессе производства также носит нечёткий характер. То есть функцию  $\varphi$  следует рассматривать как нечёткое отображение  $\tilde{\varphi}$ .

Задача принятия решения в условиях нечеткой информации формулируется следующим образом. Есть множество  $X$  возможных действий лица, принимающего решение (ЛПР), и множество  $Y$  состояний управляемой системы. ЛПР в различной степени устраивают различные состояния системы: он стремится достичь своей цели, задаваемой нечетким подмножеством  $\tilde{G} \subseteq Y$ , а для достижения своей цели выбирает действия так, чтобы удовлетворить ограничениям на действия, задаваемым нечётким подмножеством  $\tilde{C} \subseteq X$ . Состояние, в которое переходит система в зависимости от действия ЛПР, описывается нечетким отображением  $\tilde{\varphi}: X \rightarrow Y$ . Задача ЛПР состоит в том, чтобы определить действие, которое позволило бы ему одновременно достичь цели  $\tilde{G}$  и удовлетворить ограничениям  $\tilde{C}$ . Отобразив множество цели  $\tilde{G}$  во множество действий, найдем его прообраз  $\tilde{g}$  при отображении  $\tilde{\varphi}$  – нечеткое множество действий, приводящих к заданной нечеткой цели без учета ограничений. Тогда решением задачи будет пересечение  $\tilde{g} \cap \tilde{C}$  – прообраза цели с множеством ограничений.

Описанный способ решения задачи достижения нечеткой цели называется подходом Беллмана-Заде [1]. Он основан на представлении множества цели и множества ограничений как подмножества одного.

Аналогичный подход осуществлен Кузнецовым Л.А. применительно к управлению сквозной технологией производства проката [3]. Принципиальным отличием данной работы от вышеуказанной является использование метода, основанного на нечеткостях, применительно к управлению качеством заготовки в сквозной технологии производства метизной продукции.

Рассмотрим применение данного подхода на примере самонарезающих винтов.

Для обеспечения стабильного бездефектного процесса холодной объемной штамповки (ХОШ) самонарезающих винтов из стали марки 15Г(М) выполнен ана-

Таблица 1

Математическое ожидание и среднее квадратичное отклонение

Состояние	$\sigma_v$ фактич				$\Psi$ фактич				$\delta$ фактич			
	D	M	M-D/2	M+D/2	D	M	M-D/2	M+D/2	D	M	M-D/2	M+D/2
г/к	29,2	432,5	417,9	447,1	4,0	70,9	68,9	72,9	7,0	37,4	33,8	40,9
отж	19,0	427,8	418,4	437,3	4,0	74,0	71,9	76,0	6,8	37,0	33,6	40,4
клбр	19,1	481,7	472,1	491,2	2,7	71,2	69,8	72,5	6,1	32,5	29,5	35,6

лиз прочностных показателей качества металла – временного сопротивления ( $\sigma_v$ ), относительного сужения ( $\Psi$ ) и относительного удлинения ( $\delta$ ) – в горячекатаном, отожженном и калиброванном состояниях.

Как указывалось выше, из-за колебания состава сырья и технологии, ошибок контрольно-измерительных приборов параметры заготовки и параметры технологического процесса следует рассматривать как случайные величины. Вероятностное поведение случайной величины полностью описывается ее функцией плотности распределения. Так как реальные функции распределения обычно аппроксимируют законом нормального распределения, то решение может быть определено в терминах математического ожидания (M) и среднее квадратичного отклонения (D), полностью характеризующих нормальное распределение.

Благодаря систематической работе по освоению производства самонарезающих винтов в условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ» сформирован значимый массив производственных данных, на основе которого с помощью программного продукта STATISTICA 6:

- построены частотные характеристики (гистограммы) показателей качества данного вида продукции ( $\sigma_v$ ,  $\Psi$  и  $\delta$ );
  - рассчитаны значения математического ожидания и среднее квадратичное отклонения для  $\sigma_v$ ,  $\Psi$  и  $\delta$  металла в горячекатаном, отожженном и калиброванном состояниях с учетом маршрута волочения (табл. 1).
- Используя полученную информацию, проведен пооперационный анализ с точки зрения изменения математического ожидания и среднее квадратичное отклонения прочностных параметров заготовки самонарезающих винтов. Результаты анализа представлены в виде:
- графиков, наглядно демонстрирующих характер распределения математического ожидания и среднее квадратичное отклонения рассматриваемых показателей качества заготовки в процессе подготовительных операций к ХОШ (см. рисунок);
  - таблицы, содержащей коэффициенты, отражающие зависимость значения среднее квадратичное отклонения (математического ожидания) последующей операции от значения среднее квадратичное отклонения (математического ожидания) предыдущей операции (табл. 2).

В свою очередь, на основе данных табл. 2 процесс подготовки металла к ХОШ рассмотрен с точки зрения увеличения или уменьшения значений математического ожидания и среднее квадратичное отклонения показателей качества на смежных технологических операциях:

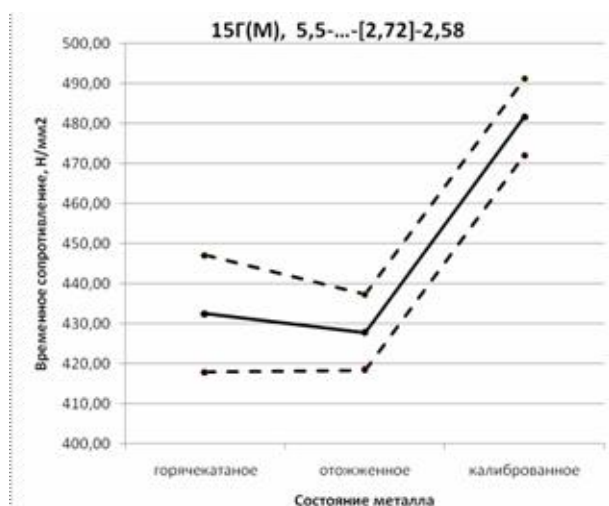
- если коэффициент  $a = \frac{M_{i+1}}{M_i} > 1$ , то последующая операция увеличивает значение математического ожидания показателя качества по сравнению с предыдущей операцией;
  - если коэффициент  $a = \frac{M_{i+1}}{M_i} < 1$ , то последующая операция уменьшает значение математического ожидания показателя качества по сравнению с предыдущей операцией;
  - если коэффициент  $b = \frac{D_{i+1}}{D_i} > 1$ , то последующая операция увеличивает значение среднее квадратичное отклонения показателя качества по сравнению с предыдущей операцией;
  - если коэффициент  $b = \frac{D_{i+1}}{D_i} < 1$ , то последующая операция уменьшает значение среднее квадратичное отклонения показателя качества по сравнению с предыдущей операцией.
- Как отмечалось выше, сквозной технологический процесс следует рассматривать не как детерминированную функцию преобразования показателей качества продукции, а как процесс нечеткий. В ходе технологического процесса значения параметров заготовки «размазываются», то есть каждый параметр характеризуется не конкретным числом, а диапазоном. И этот диапазон значений изменяется после каждой операции. В результате, задача управления может быть сформулирована следующим образом: если на выходе требуется полу-

Таблица 2

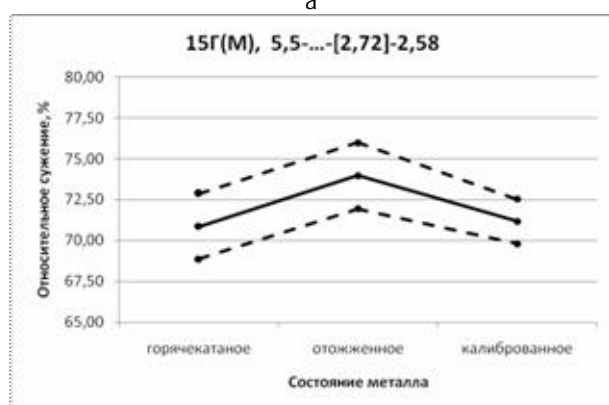
Значения коэффициентов

Маршрут волочения	Зависимость вида $M_{i+1} = a \cdot M_i$					Зависимость вида $D_{i+1} = b \cdot D_i$				
	Мат. ожидание последующей операции	Коэффициенты $a$			Мат. ожидание предыдущей операции	Среднее кв. отклонение послед. операции	Коэффициенты $b$			Среднее кв. отклонение предыдущ. операции
		$\sigma_v$	$\Psi$	$\delta$			$\sigma_v$	$\Psi$	$\delta$	
5,5-...-[2,72]-2,58	М отж	0,99	1,04	0,99	М г/к	D отж	0,65	1,02	0,97	D г/к
	М клбр	1,13	0,96	0,88	М отж	D клбр	1,01	0,67	0,89	D отж

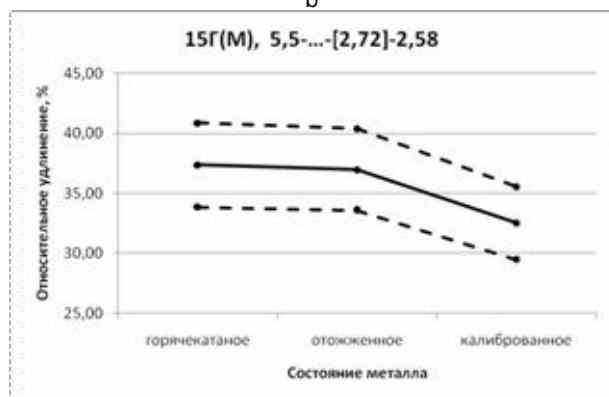




а



б



в

**Изменение значений математического ожидания (сплошная линия) и среднеквадратичного отклонения (пунктирная линия)  $\sigma_B$  (а),  $\Psi$  (б) и  $\delta$  (в) заготовки самонарезающих винтов в процессе подготовительных операций к ХОШ**

чить значение параметра продукции  $M_i$ , то в силу нечеткости необходимо получить интервал значений с математическим ожиданием  $M_i$  и среднеквадратичным отклонением  $D_i$  не больше критического (ориентировочно не больше допусков ГОСТа). То есть необходимо определить, какой диапазон значений параметра заготовки задать на входе, чтобы попасть в заданную об-

ласть значений параметра продукции на выходе при известных законах распределения:

$$M_0 = f_1 \dots f_{n-2} (f_{n-1} (f_n (M_n))) ;$$

$$D_0 = f_1 \dots f_{n-2} (f_{n-1} (f_n (D_n))) ,$$

где  $n$  – количество технологических операций;  $M_n$  и  $D_n$  – значения математического ожидания и среднеквадратичного отклонения параметров заготовки на выходе;  $M_0$  и  $D_0$  – значения математического ожидания и среднеквадратичного отклонения параметров заготовки на входе;  $f_i$  – функции плотности распределения вероятностей этих параметров;  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  – индексы технологических операций.

Таким образом, необходимо решить задачу об управлении качеством заготовки самонарезающих винтов для ХОШ в обратном направлении, с конца технологического процесса в его начало, то есть

$$\left( M_n \pm \frac{D_n}{2} \right) \rightarrow \left( M_{n-1} \pm \frac{D_{n-1}}{2} \right) \rightarrow \dots \rightarrow \left( M_0 \pm \frac{D_0}{2} \right)$$

В итоге определим требования к катанке при заданных технологических параметрах. В том случае, если получение горячекатаной заготовки с требуемыми параметрами в условиях существующей технологии производства невозможно, то следует внести коррективы в технологический процесс, найти резервы сужения стандартного отклонения и получения заданного значения математического ожидания показателей качества.

Таким образом, определены два направления дальнейшего исследования:

1) формирование требований к катанке, обеспечивающих стабильный бездефектный процесс ХОШ самонарезающих винтов;

2) совершенствование режимов процессов подготовки металла к формообразованию, обеспечивающих получение заготовки с требуемым уровнем свойств для бездефектной ХОШ самонарезающих винтов.

#### Список литературы

1. Беллман Р., Заде Л. Вопросы принятия решений в расплывчатых условиях // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М.: Мир, 1976. 587 с.
2. Проблема повышения качества крепежных изделий / Чукин В.В., Артюхин В.И., Рубин Г.Ш., Вахитова Ф.Т., Гусева Е.Н. // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2007. № 4. С. 99–102.
3. Кузнецов Л.А. Современный подход к управлению металлургической технологией // Производство проката. 1999. № 9. С. 27–33.

#### List of literature

1. Bellman R., Zade L. The problems of decision-making in the indistinct conditions // Problems of the analysis and decision-making procedure. M: the World, 1976. 587 p.
2. The problem of the fixing products quality improvement / Chukin V.V., Artyukhin V.I., Rubin G.Sh., Vakhitova F.T., Guseva E.N. // Vestnik MSTU named after G.I. Nosov. 2007. № 4. P. 99–102.
3. Kuznetsov L.A. The modern approach to the metallurgical technology management // Rolled metal production. 1999. № 9. P. 27–33.

Кинзин Д.И., Левандовский С.А., Наливайко А.В., Завьялов К.А.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОФИЛЕЙ ПРИ ПРОКАТКЕ В КАЛИБРАХ

Одним из основных факторов для моделирования сортовой прокатки является способ описания геометрических параметров очага деформации и процесса формоизменения металла. С середины 1990-х годов на кафедре обработки металлов давлением Магнитогорского государственного технического университета сформировалась научная школа, успешно развивающая структурно-матричное описание прокатки в калибрах [1].

Для повышения уровня качества сортовой продукции был создан принцип оптимизации формы калибров профилей простой формы по критерию неравномерности деформации. Его использование позволило снизить неравномерность деформации, улучшить показатели точности геометрии проката и расширить области применения калибровки за счёт прогнозирования различных вариантов технологических схем.

Рассматривая взаимосвязи критериев:  $K_{\text{нр}}$  – неравномерности деформации,  $K_{\text{стаб}}$  – стабильности процесса,  $K_{\text{точн}}$  – точности,  $K_{\text{техн}}$  – технологичности, пришли к заключению, что линия наследования информации выстроена следующим образом [1]:  $K_{\text{нр}} \leftarrow K_{\text{техн}} \leftarrow K_{\text{стаб}} \leftarrow K_{\text{точн}}$  откуда следует, что форма калибров, связанных в технологическую цепочку, оказывает непосредственное влияние на движение металла в очаге деформации; равномерность и распределение механических свойств, основанные на допустимой неравномерности деформации; работу, совершаемую в процессе прокатки [2].

Управляя формой калибров, можно достаточно эффективно воздействовать на процесс сортовой прокатки и обеспечивать необходимое качество готовой продукции. Создана модель оптимизации контуров калибров простой формы, где в качестве основного критерия выступил  $K_{\text{нр}}$  – коэффициент неравномерности деформации. В качестве ограничитель стали: заполнение калибра металлом, допустимая нагрузка на оборудование и предел варьирования формы.

Результаты использования модели оптимизации приведены в **таблице**.

**Результаты оптимизации калибровки**

Стан	Профиль-размер	Среднее снижение усилия прокатки, %
250 № 2 ОАО «ММК»	Круг 6,5	14
170 ОАО «ММК»	Круг 6,5	12
	Круг 12	6
370 ОАО «ММК»	Круг 36	11
	Квадрат 22	8
450 ОАО «ММК»	Круг 22	6
	Круг 60	5
350 ОАО «Северсталь»	Круг 36	2

В качестве модели формоизменения металла в калибрах при решении задачи оптимизации использовалась методика, построенная на базе принципа наименьшего сопротивления, который был сформулирован в виде уравнения связи смещенных объемов металла и напряжений в очаге деформации [3]. На основе предложенной формулировки принципа наименьшего сопротивления получены формулы для расчета показателей формоизменения и энергосиловых параметров при прокатке в простых двух- и трехвалковых калибрах. Разработанная методика была интегрирована в структурно-матричную модель, что в большей части и определяет сферу ее применения. Данная интеграция позволила в полной мере использовать достоинства структурно-

матричной модели, а это дает возможность применять ее не только как дополнение к уже существующим методикам и для совершенствования существующих технологических процессов, но и как самостоятельную методику для разработки технологии сортовой прокатки.

На основе данной методики разработана САПР калибровок простых сортовых профилей, отличающаяся большой универсальностью и гибкостью. Однако из-за того, что в основе методики лежит формула, представляющая собой неявное трансцендентное уравнение, связывающее сложным образом различные геометрические параметры очага деформации, расчет показателей формоизменения для стана из двадцати клеток может занимать значительное время, что обусловлено алгоритмом расчета, который представляет собой постепенное приращение ширины профиля и проверку на каждом шаге степени приближения к решению.

$$\ln \frac{S_0}{S_1} = \frac{K_2 - 1 + \sqrt{\frac{1}{2} \left( (1 - K_2)^2 + (K_2 - K_3)^2 + (1 - K_3)^2 \right)}}{1 - K_3 - \sqrt{\frac{1}{2} \left( (1 - K_2)^2 + (K_2 - K_3)^2 + (1 - K_3)^2 \right)}} \frac{S_1}{S_a} \ln \frac{S_a}{S_b}, \quad (1)$$

где  $S_0$  – площадь входящего сечения;  $S_1$  – площадь выходящего сечения;  $S_a$  – площадь фигуры ADEL (**рис. 1**);  $S_b$  – площадь фигуры ВСФК (см. **рис. 1**);  $K_2 = 2f \sin(\arctg(B_{cp}/L_{cp}))$ ;  $K_3 = 2f \cos(\arctg(B_{cp}/L_{cp}))$ ;  $f$  – коэффици-

ент трения;  $B_{cp}$  – средняя ширина контактной поверхности;  $L_{cp}$  – средняя длина контактной поверхности.

Для того чтобы сделать уравнение (1) явным относительно  $S_1$ , упростим его путем разложения левой части, которая представлена натуральным логарифмом коэффициента вытяжки, в ряд Тейлора в окрестности значения теоретической вытяжки  $S_1 = S_T$  (рис. 2).

$$\text{Находим производные функции } f(S_1) = \ln \frac{S_0}{S_1}, f'(S_1) = -\frac{1}{S_1}, f''(S_1) = \frac{1}{S_1^2}, f'''(S_1) = -\frac{2}{S_1^3}, f^{IV}(S_1) = \frac{6}{S_1^4}, \dots$$

Отсюда записываем ряд

$$\ln \frac{S_0}{S_1} = \ln \frac{S_0}{S_T} - \frac{(S_1 - S_T)}{S_T} + \frac{(S_1 - S_T)^2}{2S_T^2} - \frac{(S_1 - S_T)^3}{3S_T^3} + \dots + (-1)^n \frac{(S_1 - S_T)^n}{nS_T^n} + \dots \quad (2)$$

Определим область сходимости ряда. Обозначив через  $U_n$  общий член ряда, будем иметь:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{|U_{n+1}|}{|U_n|} = \lim_{n \rightarrow \infty} \left| \frac{(S_1 - S_T)^{n+1}}{(n+1)S_T^{n+1}} \Big/ \frac{(S_1 - S_T)^n}{nS_T^n} \right| = \left| \frac{S_1 - S_T}{S_T} \right|. \quad (3)$$

На основании признака Даламбера можно утверждать, что ряд сходится при  $S_T < S_1 < 2S_T$  (учитывая, что  $S_1 > S_T > 0$ ), т.е. в области значений, обычно встречающихся при сортовой прокатке. Далее, отбросив остаточный член ряда, начиная с третьей степени, получим приближенное выражение левой части уравнения (1):

$$\ln \frac{S_0}{S_1} \cong \ln \frac{S_0}{S_T} - \frac{(S_1 - S_T)}{S_T} + \frac{(S_1 - S_T)^2}{2S_T^2}. \quad (4)$$

Воспользовавшись формой Лагранжа, для оценки остаточного члена ряда получим:

$$R_2(S_1) = -\frac{(S_1 - S_T)^3}{3[S_T + \theta(S_1 - S_T)]^3}, \text{ где } 0 < \theta < 1. \quad (5)$$

Таким образом, можно утверждать, что ошибка по абсолютной величине всегда будет меньше отношения  $(S_1 - S_T)^3 / 3S_T^3$ , которое для обычных коэффициентов вытяжки не превышает 2%.

Таким образом, получили квадратное уравнение

$$\ln \frac{S_0}{S_T} - \frac{(S_1 - S_T)}{S_T} + \frac{(S_1 - S_T)^2}{2S_T^2} = K_\phi \frac{S_1}{S_a} \ln \frac{S_a}{S_b}, \quad (6)$$

где  $K_\phi = \frac{K_2 - 1 + \sqrt{\frac{1}{2}((1 - K_2)^2 + (K_2 - K_3)^2 + (1 - K_3)^2)}}{1 - K_3 - \sqrt{\frac{1}{2}((1 - K_2)^2 + (K_2 - K_3)^2 + (1 - K_3)^2)}}$ , решив которое получим явное выражение

площади поперечного сечения раската на выходе из валков  $S_1$  через другие параметры.

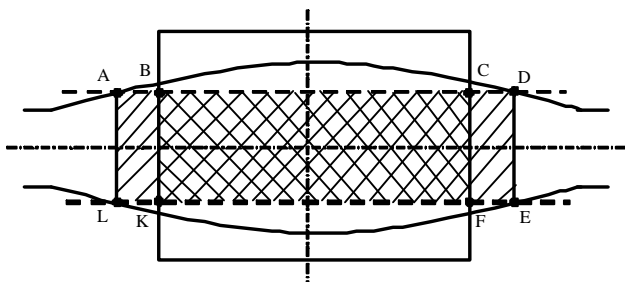


Рис. 1. Схема к формуле расчета показателей формоизменения металла при прокатке в калибрах

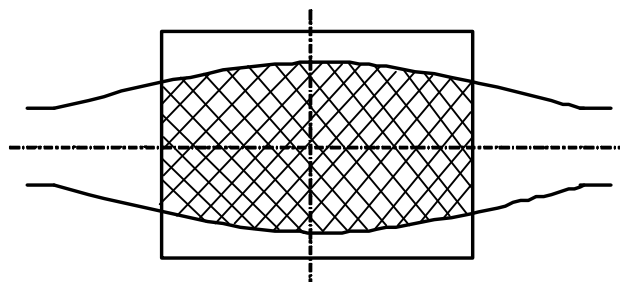


Рис. 2. Площадь выходящего сечения при теоретической вытяжке ( $S_1 = S_T$ )

Задавая в первом приближении ширину раската, равной ширине входящего сечения, можно определить площадь поперечного сечения по новой формуле, а через площадь найти новое приближение ширины выходящего сечения. Продолжая данный цикл до удовлетворительной точности, можем получить приближенное решение уравнения.

Таким образом, новая методика определения показателей формоизменения при прокатке в калибрах позволяет на порядок быстрее найти решение. Это дает возможность проанализировать гораздо большее количество вариантов технологических решений и выбрать из них оптимальное по производительности, стабильности, энергоэффективности, себестоимости, качеству продукции и другим критериям. Такая многовариантность и гибкость повышает эффективность работы технологов как при проектировании оборудования прокатных станков, так и при разработке и совершенствовании процессов на действующих агрегатах. Высокая скорость расчетов и гибкость САПР позволяет решать нестандартные производственные задачи в короткие сроки, что имеет существенное значение для действующего производства.

#### Список литературы

1. Тулупов О.Н. Структурно-матричные модели для повышения эффективности процессов сортов прокатки: монография. Магнитогорск: МГТУ, 2002. 224 с.
2. Левандовский С.А., Моллер А.Б., Тулупов О.Н. Оптимизация режимов формоизменения на современных непрерывных сортовых станах // Наука и производство Урала: сб. тр. межрегион. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Новотроицк: НФ МИСиС, 2005. С. 55–57.
3. Кинзин Д.И. Совершенствование и проектирование калибровок простых сортовых профилей на основе анализа показателей формоизменения и энергосиловых параметров: дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск, 2003. 107 с.

#### List of literature

1. Tulupov O.N. (2002) Structural-matrix models for section rolling efficiency rising. Monograph. Magnitogorsk: MSTU. 2002. 224 p.
  2. Levandovskiy S.A., Moller A.B., Tulupov O.N. (2005) Optimization of deformation modes on modern continuous section rolling mills. Conference Book. Science and Production in Ural Region. Novotroitsk. SF MISIS. P. 55–57.
  3. Kinzin D.I. (2003) Improving and designing of ordinary section bar sizing on the basis of deformation indexes and power parameters analysis. Candidate of Science Dissertation. Magnitogorsk. 107 p.
-



## МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 519.711.3:371.214.27

Федосеев С.А., Вожаков А.В., Гитман М.Б.

### МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА НА ТАКТИЧЕСКОМ УРОВНЕ С НЕЧЕТКИМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ И КРИТЕРИЯМИ

Вся система производственного планирования может быть разделена на три структурных уровня: стратегического, тактического и оперативного планирования [1–3].

Особенно остро проблема планирования стоит на тактическом уровне. С момента получения ГКПП до формирования сменно-суточных заданий требуется решить задачу оптимального распределения нагрузки на рабочие центры таким образом, чтобы выполнялось условие реализуемости ГКПП при соблюдении принципов параллельности, пропорциональности, непрерывности и прямоотчности производства.

В общемировой практике для решения задач производственного планирования активно используется подход «Планирование ресурсов предприятия» (Enterprise resource planning – ERP). Термин ERP согласно APICS [4] означает «финансово ориентированную информационную систему для определения и планирования ресурсов предприятия, необходимых для получения, изготовления, отгрузки и учета заказов потребителей». Основными недостатками существующих ERP-систем являются их повышенные требования к точности входных данных и упрощенные линейные представления в используемых математических моделях. Таким образом, существующие ERP-системы пока не обеспечивают решение задач производственного планирования с учетом различных объективно существующих видов неопределенности (стохастичность, нечеткость).

Рассмотрим модель планирования производства на тактическом уровне, учитывающая нечеткость критериев оптимизации и ограничений.

Пусть процесс производства осуществляется в нескольких цехах, каждый из которых содержит в себе определенное множество рабочих центров. Все рабочие центры разделены на типы. Типы рабочих центров пронумеруем индексом  $k \in \overline{1, E}$ , где  $E$  – общее количество типов рабочих центров. Введем вектор  $\bar{q} = (q_1, q_2, \dots, q_k)$ , где  $q_k$  – количество рабочих центров  $k$ -го типа, имеющих на производстве. Будем считать, что все  $q_k$  рабочих центров  $k$ -го типа находятся в одном цехе.

Максимальная загрузка каждого рабочего центра ограничена некоторым количеством часов в календарный день, обычно это одна или две смены по 8 ч. Будем

измерять время загрузки рабочих центров в сменах и положим, что максимальная загрузка всех рабочих центров  $k$ -го типа одинакова и равна  $t_k^*$  смен. Если  $t_k^* > 1$ , то возможны сверхурочные работы. Если учесть, что на практике максимальная загрузка рабочих центров может варьироваться, т.е. является нечеткой, то ее можно определить с помощью нечетких чисел вида

$$Z_k = \{ \mu(z_{k1})/z_{k1}; \mu(z_{k2})/z_{k2}; \dots; \mu(z_{kv})/z_{kv} \},$$

где  $z_{kh}$ ,  $h = \overline{1, v}$ , – количество рабочих смен, ограничивающих максимальную загрузку рабочих центров  $k$ -го типа,  $\mu(z_{kh})$ ,  $h = \overline{1, v}$ , – функция принадлежности, которую содержательно можно интерпретировать как степень убежденности экспертов в допустимости такого ограничения.

Спецификации для всех видов готовой продукции заданы, поэтому может быть составлен единый перечень всех номенклатурных единиц от материалов до готовых изделий, включая полуфабрикаты. В этом перечне каждой номенклатурной единице присваивается уникальный номер  $i \in \overline{1, C}$ , где  $C$  – суммарное количество уникальных номенклатурных единиц во всех спецификациях. Номенклатурный перечень может быть отсортирован таким образом, чтобы вначале располагались изготавливаемые полуфабрикаты и готовые изделия с номерами  $1 \leq i \leq N$ ,  $N < C$ , а затем закупаемые материалы с номерами  $N < i \leq C$ .

Для описания состава изготавливаемых номенклатурных единиц введем матрицу применимости  $A$ . Ее элементы  $a_{ij}$  определяют количество номенклатурных единиц (компонентов) с номерами  $i \in \overline{1, C}$ , необходимых для производства номенклатурных единиц с номерами  $j \in \overline{1, N}$ .

Считается, что задан ГКПП, описывающий план, исходя из номенклатурных позиций независимого спроса (что производить, когда производить, сколько производить). Для описания ГКПП введем матрицу  $g$ . Ее элементы  $g_{id}$  определяют количество номенклатурных единиц (компонентов) с номерами  $i \in \overline{1, C}$ , которые необходимо произвести в день с номером  $d \in \overline{1, T}$ , где  $T$  – количество дней в плановом периоде.

Технологические маршруты, описывающие способ производства каждой изготавливаемой номенклатурной единицы, считаются заданными. Технологический маршрут содержит информацию об операциях и их последовательности. В данной работе на технологический маршрут накладывается дополнительное ограничение: все операции технологического маршрута должны выполняться на рабочих центрах одного цеха. При этом модель применима и для предприятий, использующих в работе многоцеховые технологические маршруты. Необходимо только разбить такие маршруты на несколько одноцеховых этапов. Для удобства далее будем называть технологические маршруты, выполняемые в рамках одного цеха, *технологическими этапами*.

Для каждой изготавливаемой номенклатурной единицы должен быть определен технологический этап ее изготовления. Чтобы произвести  $i$ -ю номенклатурную единицу в количестве  $n_i$ , необходимо  $n_i$  раз выполнить технологический этап  $i$ -го вида. Введем вектор  $\bar{n} = (n_1, n_2, \dots, n_N)$ , где  $n_i$  – количество запланированных технологических этапов вида  $i \in \overline{1, N}$ . Фактически данный вектор является разузлованным аналогом ГКПП.

Для каждого технологического этапа определен набор технологических операций (далее *операции*), которые должны быть выполнены для того, чтобы технологический этап считался завершенным. Таким образом, определен вектор  $\bar{w} = (w_1, w_2, \dots, w_N)$ , где  $w_i$  – количество операций в технологическом этапе вида  $i \in \overline{1, N}$ .

Вид операции идентифицируется следующим набором данных: номер операции, номер номенклатурной единицы, тип рабочего центра, трудоемкость. Поэтому общее количество видов операций можно определить по формуле

$$W = \sum_{i=1}^N w_i.$$

Виды операций пронумеруем индексом  $l \in \overline{1, W}$ . Все операции можно отсортировать по номеру технологического этапа, а затем по номеру операции внутри технологического этапа. Введем вектор  $\bar{o} = (o_1, \dots, o_{w_1}, o_{w_1+1}, \dots, o_{w_1+w_2}, \dots, o_W)$ , где  $o_l$  – количество операций, которые необходимо выполнить в плановом периоде,  $l \in \overline{1, W}$ . Также введем последовательность чисел  $s_1, \dots, s_N$ , где  $s_i$  определяет значение индекса  $l$  для первой операции  $i$ -го технологического этапа. Тогда числа  $s_i$  могут быть определены по формуле

$$s_i = \begin{cases} 1, & i = 1 \\ s_{i-1} + w_{i-1}, & i \in \overline{2, N} \end{cases}$$

Отметим, что значение индекса  $l$  для последней операции  $i$ -го технологического этапа можно опреде-

лить следующим образом:  $s_i + w_i - 1$ .

Примем, что для каждой операции, входящей в состав технологического этапа  $i$ -го вида,  $o_l = n_i$ , где  $l \in \overline{s_i, s_i + w_i - 1}$ .

Введем вектор трудоемкостей операций  $\bar{t} = (t_1, t_2, \dots, t_W)$ , где  $t_l$  – трудоемкость операции  $l$ -го вида, выраженная в рабочих сменах,  $t_l \in [0; 1]$ ,  $l \in \overline{1, W}$ .

Введем вектор  $\bar{e} = (e_1, e_2, \dots, e_W)$ , где  $e_l \in \overline{1, E}$ ,  $l \in \overline{1, W}$ , который определяет на рабочих центрах какого типа выполняется операция  $l$ -го вида.

Считается заданным вектор  $\bar{r} = (r_1, r_2, \dots, r_C)$ , где  $r_i$  – остаток  $i$ -й номенклатурной единицы на цеховых складах на начало планового периода,  $i \in \overline{1, C}$ .

Известен общий объем операций, которые необходимо оптимальным образом распределить по рабочим сменам и рабочим центрам при соблюдении ограничений. В этом и заключается задача планирования производства на тактическом уровне.

Для описания плана производства введем матрицу **P**. Ее элементы  $p_{ld}$  определяют количество операций  $l$ -го вида, запланированных на день с номером  $d$ ,  $l \in \overline{1, W}$ ,  $d \in \overline{1, T}$ , где  $T$  – количество дней в плановом периоде, т.е. без нарушения общности предполагается, что предприятие работает в одну смену. Если предприятие работает в две или три смены, то  $T$  будет обозначать количество смен в плановом периоде. Фактически матрица **P** является планом-графиком производства, поэтому определение ее элементов  $p_{ld}$  и будет решением задачи.

Также введем матрицу баланса номенклатурных единиц **B**. Ее элементы  $b_{id}$  определяют количество номенклатурных единиц с номерами  $i \in \overline{1, C}$ , находящихся на цеховых складах на конец дня с номером  $d \in \overline{0, T}$ . Значение индекса  $d = 0$  используется в матрице баланса для определения остатков номенклатурных единиц на начало планируемого периода. Также матрица зависит от ГКПП: в дни, когда запланирован выпуск продукции, происходит автоматическая отгрузка готовой продукции со склада. Элементы матрицы **B** можно определить следующим образом:

$$b_{id} = \begin{cases} r_i, & i \in \overline{1, C}, d = 0 \\ b_{id-1} + p_{s_i+w_i-1,d} - g_{id} - \sum_{j=1}^N p_{s_j,d} a_{ij}, & i \in \overline{1, N}, d \in \overline{1, T} \\ b_{id-1} - \sum_{j=1}^N p_{s_j,d} a_{ij}, & N < i \leq C, d \in \overline{1, T} \end{cases} \quad (1)$$

Здесь учтено предположение о том, что произведенное количество  $i$ -й номенклатурной единицы совпадает с количеством выполнений последней операции  $i$ -го технологического этапа.

Введем понятие риск срыва производства. Риск срыва плана производства будем называть «относительную вероятность» того, что по тем или иным причинам план производства не будет выполнен в срок. При расчете риска будут учитываться параметры, которыми мы можем управлять. Вероятность возникновения проблем на производстве сильно зависит от объекта автоматизации. На предприятиях, где риск срыва производства достаточно велик, создают определенные запасы деталей, которые попадают в производство раньше, чем запланировано. Максимальное опережение производства  $\tau$  устанавливается экспертами. Опережением производства будет называться производство продукции раньше, чем это становится крайне необходимо. Приведем основные гипотезы относительно риска срыва плана производства:

1. Чем меньше дневная загрузка оборудования, тем ниже вероятность срыва дневного плана.

2. Чем больше дней остается до даты отгрузки от даты совершения ошибки, тем больше вероятность удачного оперативного решения проблемы.

3. Риск срыва можно снизить, создав опережающий план производства, который будет производить продукцию заранее, оставляя время для решения проблем.

Очевидно, что при составлении плана-графика производства должны учитываться следующие ограничения:

1. Суммарное количество операций одного вида в плане-графике должно быть равно общему количеству операций данного вида, которые необходимо выполнить в плановом периоде согласно ГКПП. Математически данное ограничение может быть представлено в следующем виде:

$$\sum_{d=1}^T p_{ld} = o_l \text{ для всех } l \in \overline{1, W}. \quad (2)$$

2. В каждый из планируемых дней максимальная загрузка рабочих центров не должна превышать максимально возможную загрузку. Математически данное ограничение может быть представлено в следующем виде:

$$\sum_{l=1}^W p_{ld} t_l \beta_{lk} \leq t_k^* q_k \text{ для всех } d \in \overline{1, T}, \quad (3)$$

где  $\beta_{lk} = \begin{cases} 1, & e_l = k \\ 0, & e_l \neq k \end{cases}, l \in \overline{1, W}, k \in \overline{1, E}.$

При этом максимально возможная загрузка может быть определена нечетко.

3. В любой момент времени остаток номенклатурных единиц не может быть отрицательным. Математически данное ограничение может быть представлено в следующем виде:

$$b_{id} \geq 0, \text{ для всех } i \in \overline{1, C}, d \in \overline{0, T}. \quad (4)$$

Введем три основных критерия оптимальности плана-графика производства:

1. Критерий комфортности производства, т.е. план-график производства должен быть скомпонован таким образом, чтобы операции одного вида запускались в производство как можно большими партиями. В этом случае не потребуется переналадка оборудования при переходе от выполнения одной операции к другой. Математически данный критерий может быть представлен в следующем виде:

$$J_1 = \sum_{l=1}^W \sum_{d=1}^T \beta_{ld} \rightarrow \min, \text{ где } \beta_{ld} = \begin{cases} 1, & p_{ld} \neq 0 \\ 0, & p_{ld} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

В приведенном критерии учтено вполне очевидное утверждение о том, что чем большими партиями операции одного вида будут запускаться в производство, тем меньше будет ненулевых элементов  $p_{ld}$  матрицы  $\mathbf{P}$ , образно говоря, план-график будет нарезан меньшими кусочками, и тем меньше, следовательно, будет сумма булевых переменных  $\beta_{ld}$ .

2. Производство должно быть непрерывным, т.е. нагрузка на рабочие центры должна быть как можно ближе к максимальной. Введение данного критерия обусловлено экономическими соображениями, т.к. за вынужденные простои рабочие также получают заработную плату. Математически данный критерий может быть представлен в следующем виде:

$$J_2 = \sum_{l=1}^W \sum_{d=1}^T \sum_{k=1}^E |p_{ld} t_l \beta_{lk} - t_k^* q_k| \rightarrow \min, \quad (6)$$

где  $\beta_{lk} = \begin{cases} 1, & e_l = k \\ 0, & e_l \neq k \end{cases}$

3. Срок изготовления ГКПП должен быть минимальным. При этом ГКПП считается выполненным только в том случае, если все операции завершены, т.е. дата совершения последней операции и будет являться сроком исполнения всего ГКПП. Математически данный критерий может быть представлен в следующем виде:

$$J_3 = \max_{d \in \overline{1, T}} \omega(d) \rightarrow \min, \quad (7)$$

где  $\omega(d) = \begin{cases} d, & \sum_{l=1}^W \sum_{u=d}^T p_{lu} = 0 \\ 0, & \sum_{l=1}^W \sum_{u=d}^T p_{lu} \neq 0 \end{cases}$

4. Риск срыва плана производства должен быть минимален. Относительная загрузка оборудования (суммарная трудоемкость, отнесенная к максимальной загрузке данного типа оборудования), попадающая в  $\tau/2$  области перед отгрузкой готовой продукции

должна быть минимальной. При этом загрузка оборудования в день отгрузки учитывается с коэффициентом 1, за день до отгрузки 1/2, за два дня до отгрузки 1/3 и т.д. Математически данный критерий может быть представлен в следующем виде:

$$J_4 = \sum_{d=1}^T \sum_{d^* < \tau / 2, d-d^* > 0} \frac{1}{d^*} \chi_d \sum_{l=1}^W \frac{p_{ld-d^*} t_l}{q_{e_l} t_{e_l}} \rightarrow \min, \quad (8)$$

где  $\chi_d = \begin{cases} 1, \sum_{i=1}^N g_{id} \neq 0 \\ 0, \sum_{i=1}^N g_{id} = 0 \end{cases}$

Введем показатель комфортности производства, значения которого нормированы к единице. За единицу берется самое худшее значение показателя комфортности. Данное значение достигается в случае, если план производства допускает выполнение операций минимальными партиями и при этом каждый день выполняется хотя бы по одной операции каждо-

го вида. Минимальное значение параметра комфортности достигается, когда все запланированные операции одного вида выполняются в один день. Минимальное значение параметра комфортности равно  $1/T$ . Значения параметра комфортности можно сравнивать только в рамках одной задачи.

$$\kappa = \frac{\sum_{l=1}^W \sum_{d=1}^T \beta_{ld}}{W \cdot T},$$

где  $\beta_{ld} = \begin{cases} 1, p_{ld} \neq 0 \\ 0, p_{ld} = 0 \end{cases}$

На основе предложенных частных критериев может быть введен обобщенный критерий оптимальности с использованием расширенного нечеткого множества над частными критериями оптимальности  $J^r = \{\mu_1/f_1 J_1; \mu_2/f_2 J_2; \mu_3/f_3 J_3; \mu_4/f_4 J_4\}$ , где  $\mu_i \in [0; 1]$ ,  $i \in \overline{1,4}$ , – экспертная оценка значимости  $i$ -го критерия,  $f_i \in [0; 1]$ ,  $i \in \overline{1,4}$ , – нормирующие множители. Тогда, используя четкую функцию от нечеткого аргумента  $H_+(\cdot)$ , предложенную в работе [5], обобщенный критерий оптимальности можно записать:

$$J = H_+(J^r) \rightarrow \min, \quad (9)$$

где  $H_+(A) = \int_0^1 M(A_\alpha) d\alpha$ ,  $A_\alpha$  –  $\alpha$ -уровневое подмножество нечеткого множества  $A$ , т.е.

$$A_\alpha = \{a: \mu_A(a) \geq \alpha\};$$

$$M(A_\alpha) = (a^- + a^+) / 2;$$

$$a^- = \inf_{a \in A_\alpha} a; \quad a^+ = \sup_{a \in A_\alpha} a.$$

Теперь математическая постановка задачи составления оптимального плана-графика производства может быть сформулирована в следующем виде: найти элементы  $p_{ld}$ ,  $l \in \overline{1,W}$ ,  $d \in \overline{1,T}$ , матрицы  $P$ , доставляющие минимум одному из частных критериев  $J_1, J_2, J_3, J_4$ , определенных выражениями (5)–(8), или обобщенному критерию  $J$ , определенному выражением (9), с учетом ограничений (1)–(4).

**Методика решения**

Ввиду сложности поставленной задачи, ее точное решение для реальных

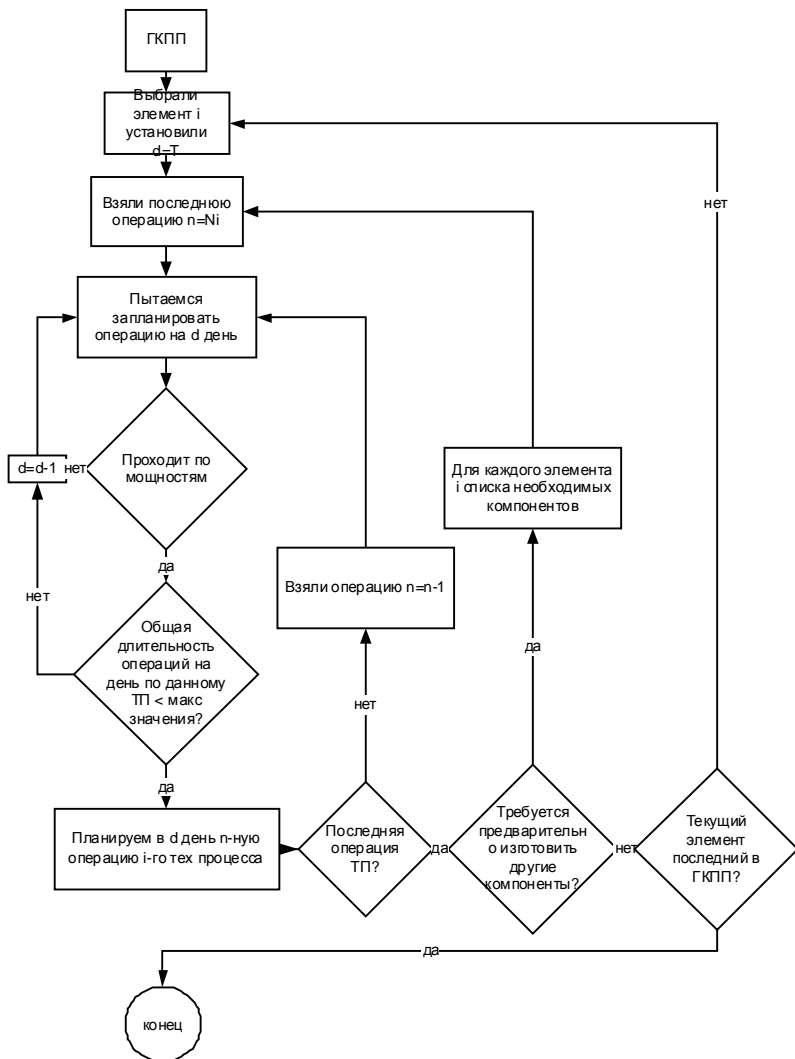


Рис. 1. Алгоритм «движение к началу периода»



производственных данных не может быть найдено. Поэтому была предложена методика, позволяющая находить календарные планы производства, удовлетворяющие ограничениям задачи и близкие к оптимальным. Методика представляет из себя набор алгоритмов, последовательное выполнение которых позволяет отыскать близкий к оптимальному календарный план. Кроме основных входных данных задачи методика позволяет учитывать приоритетность выполнения конкретных изделий и заказов, позволяя экспертам вносить корректировки в процессе расчета. Также данная методика учитывает все 4 критерия оптимальности календарного плана, более того, учитывается нечеткое соотношение между критериями, что позволяет учитывать тот или иной критерий с определенным приоритетом.

Ниже приводится список этапов нахождения оптимального плана производства:

4. Вычисление технологических весов изделий.
5. Сортировка списка изделий.
6. Алгоритм «движение к началу периода».
7. Алгоритм повышения «комфортности производства».

Технологическим весом изделия назовем суммарную трудоемкость, требуемую для изготовления изделия. После вычисления технологических весов можно составить таблицу значений элементов, входящих в ГКПП. Для каждого элемента строки данной таблицы известна следующая информация: номенклатурный номер изделия, технологический вес, плановая дата выпуска.

В дальнейшем технологический вес используется в задаче исключительно для ранжирования приоритетов изделий, поэтому при необходимости можно менять значения технологических весов изделий в таблице.

С технологическим весом изделия связаны следующие гипотезы:

1. Если два изделия должны быть выпущены в один день, то первым претендовать на свободные мощности должно изделие с большим технологическим весом.
2. Если в существующем плане два изделия должны, по каким-либо причинам, быть сдвинутыми относительно друг друга (оптимизация загрузки оборудования и т.п.), то сдвинуто будет изделие с меньшим технологическим весом.

После того, как получена таблица технологических весов изделий, ее необходимо отсортировать по дате выпуска и по убыванию технологического веса.

Далее выполняется алгоритм «движение к началу периода». Для работы данного алгоритма требуется таблица выпуска изделий и входная информация о задаче. В качестве основы работы программного алгоритма был взят эмпирический алгоритм планирования производства «с конца», т.е. строится план из логики «для того, чтобы... нужно...». При этом последовательно выбираются

строки из таблицы выпуска изделий, а затем планируется дата выпуска изделия. После этого планируются все операции, которые необходимо выполнить для выпуска данного изделия. Если изделие состоит из изготавливаемых компонентов, то далее необходимо запланировать выпуск этих компонентов. При этом крайним сроком изготовления будет дата выполнения первой операции предыдущего изделия. На рис. 1 изображен алгоритм работы модуля планирования. В качестве основного критерия оптимизации в данном алгоритме используется критерий «максимальная скорость выполнения плана». Таким образом, в результате работы данного алгоритма получаем допустимый план, оптимизированный по данному критерию.

Особый интерес представляет алгоритм повышения «комфортности производства» (рис. 2), который позволяет не только повысить комфортность, но и снизить риски производства. Рассмотрим этот алгоритм подробнее.

Повышение комфортности происходит за счет группировки одинаковых операций по дням, что максимально увеличивает партионность и уменьшает число переналадок оборудования. В результате полу-

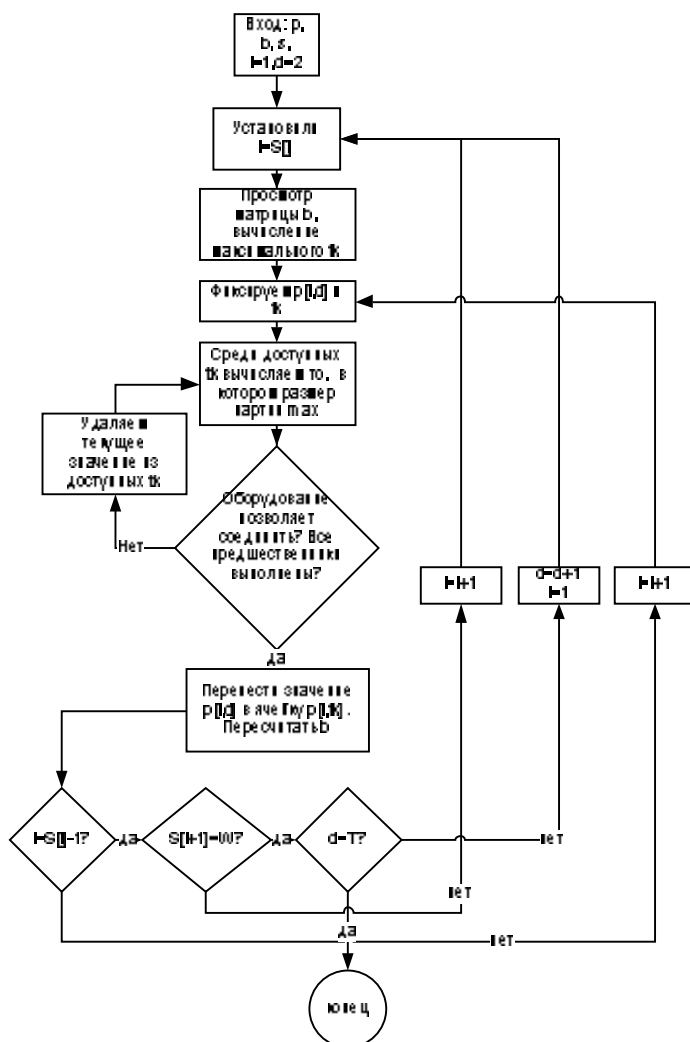


Рис. 2. Алгоритм повышения «комфортности производства»

чаем план, более устойчивый к рискам, и с улучшенными показателями комфортности производства. Стоит заметить, что эффективность метода сильно зависит от максимального времени запаса  $\tau$ , которое устанавливают эксперты и которое является параметром данного алгоритма.

**Результаты**

Была разработана автоматизированная система тактического планирования производства (АСТПП), включающая в себя следующие программные модули, позволяющие осуществлять автоматическое планирование производства:

1. Модуль импорта данных о структуре продукта и технологии его производства.
2. Модуль расчета потребности и составления начальных данных.
3. Модуль поиска оптимального календарного плана производства.
4. Модуль формирования отчетов.

В качестве первого тестового примера был взят реальный ГКПП за май 2008 года на предприятии ООО «Завод СДМ» (табл. 1).

Основным критерием данной задачи был установлен критерий скорости выполнения плана производства.

С помощью АСТПП был найден план-график производства, позволяющий произвести необходимое количество продукции за 17 дней вместо 22, которые понадобились для того, чтобы произвести продукцию в реальных условиях производства без использования системы планирования. На рис. 3 изображена диаграмма выполнения технологических этапов за каждый рабочий день планового периода согласно найденному календарному плану производства. Если технологический этап длится более одного дня, то он учитывается несколько раз.

В результате работы АСТПП удалось сократить время выполнения данного плана с 22 до 17 дней, что показывает неэффективность ручной системы планирования.

В качестве показательного тестового примера был взят ГКПП, состоящий из одной номенклатурной единицы, с достаточно простой технологией производства. План представлен в табл. 2.

С помощью АСТПП был найден план-график производства, позволяющий произвести необходимое количество продукции без нарушения сроков выполнения заказов. Так как отгрузка продукции была запланирована с перерывами в день, первоначально было найдено решение, которое позволяет произвести всю необходимую продукцию, не создавая при этом даже промежуточных складских остатков. Для многих предприятий такой план производства будет предпочтительным, особенно для предприятий, стремящихся работать по методике just in time [3]. Однако данный план имеет свои недостатки: неэффективное использование рабочих мощностей, простой в производстве, низкая

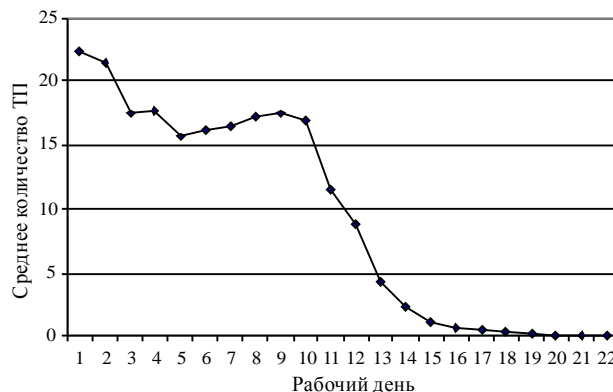


Рис. 3. Диаграмма выполнения технологических этапов:  $\blacklozenge$  - результат АСТПП

скорость выполнения плана, недостаточная комфортность производства.

Поэтому далее найденный допустимый план был оптимизирован с помощью алгоритма повышения комфортности производства. Напомним, что данный алгоритм последовательно переносит операции справа налево, что автоматически ведет к уплотнению производственного графика и к возможному увеличению скорости выполнения плана. В табл. 3 представлены графики выполнения технологических процессов (ТП) по дням. Цифры в ячейках указывают количество ТП данного вида, запланированных на данный день. При этом, если ТП выполняется больше одного дня, то он будет учтен несколько раз. Видно, что после оптимизации значительно повысилась степень комфортности производства и скорость выполнения плана.

На рис. 4 изображена диаграмма загрузки оборудования, отображающая процент загрузки оборудования за каждый рабочий день планового периода. На диаграмме представлены данные плана производства до оптимизации и данные, полученные в результате оптимизации плана. Очевидно, что найденный план производства обеспечивает более качественную загрузку оборудования по сравнению с первоначальным планом, оставляя резерв мощностей в конце периода и перенося основную нагрузку на начало периода.

В качестве примера, демонстрирующего возможности промышленного использования системы, был взят близкий к реальному производственный план предприятия ООО «Завод СДМ» (было взято базовое изделие без модификаций, но при этом сильно увеличен объем производства, чтобы убедиться в эффективности работы АСТПП). Расчет проводился на три месяца. Как правило, план производства не бывает

Таблица 1

**Главный календарный план производства**

КОД	Обозначение	Количество
91	СМ35	2
108	СМ315-01	8
53	ЗТМ220	2

Таблица 2

**Главный календарный план производства**

Наименование изделия	День №	Количество
Труба бурильная утяжеленная	5	10
Труба бурильная утяжеленная	7	10
Труба бурильная утяжеленная	9	10
Труба бурильная утяжеленная	11	10
Труба бурильная утяжеленная	12	20

выполнен полностью в плановом периоде. К началу периода обычно существует определенный задел деталей и агрегатов, а по завершению месяца также остается незавершенное производство. Поэтому показательным является второй месяц.

Приведенный пример показывает, как работает АСТПП в условиях реального производства. Приоритетным был выбран критерий комфортности производства. Добавлено ограничение на досрочный выпуск деталей, агрегатов и изделий в количестве 10 рабочих дней. Это ограничение предотвращает замораживание оборотных средств предприятия.

Заданный ГКПП приведен в табл. 4.

С помощью АСТПП был найден допустимый план производства, позволяющий произвести необходимое количество продукции без нарушения сроков выполнения. Найденный допустимый план был оптимизирован с помощью алгоритма повышения комфортности производства. На рис. 5 представлен график выполнения технологических процессов по дням второго месяца производства. На рис. 6 изображена диаграмма загрузки оборудования, отображающая процент загрузки оборудования в рабочие дни. На диаграмме представлены расчетные данные до и после оптимизации допустимого плана производства.

На рис. 7 представлены значения критерия комфортности до и после оптимизации.

Из приведенных графиков видно, что после оптимизации допустимого плана производства произошли следующие характерные изменения:

- основная нагрузка переместилась к началу пе-

риода, что позволяет снизить риски невыполнения плана производства;

- за счет учета дополнительного ограничения на досрочный выпуск деталей производственный график

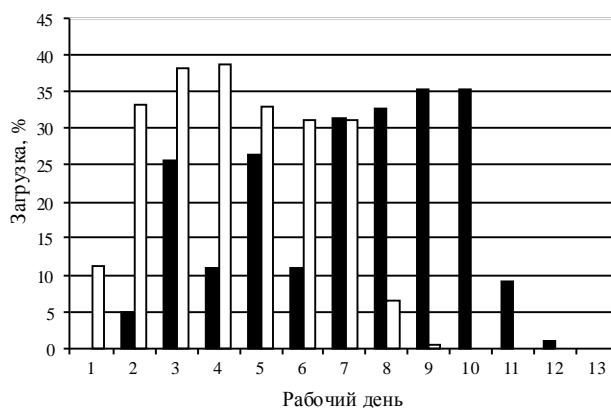


Рис. 4. Диаграмма выполнения технологических этапов по рабочим дням планового периода:  
■ – до оптимизации; □ – после оптимизации

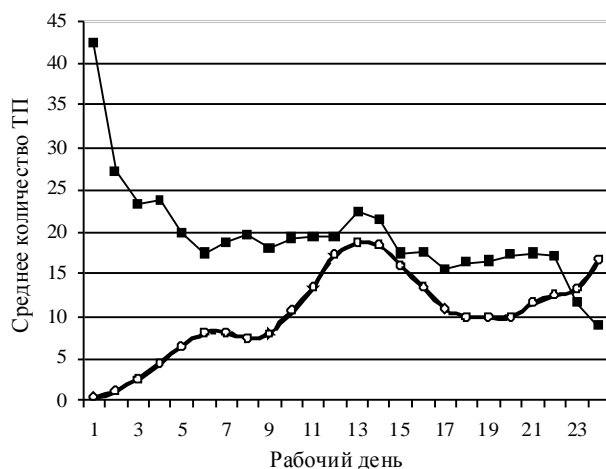


Рис. 5. Распределение технологических процессов по дням:  
○ – до оптимизации; ■ – после оптимизации

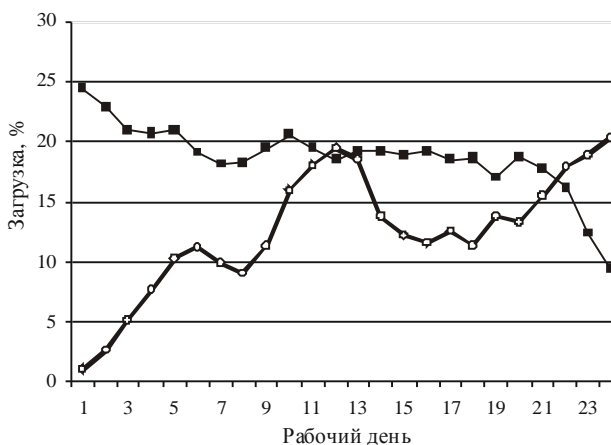


Рис. 6. Средняя загрузка оборудования:  
○ – до оптимизации; ■ – после оптимизации

Таблица 3

План выполнения технологических этапов по рабочим дням планового периода

До оптимизации	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
УБТС цех 1 пункт 4	0	0	0	0	10	0	10	0	10	0	10	20	0
УБТС цех 26 пункт 3	0	0	0	10	0	10	0	10	4	17	20	0	0
УБТС цех 2 пункт 2	0	0	10	0	10	0	10	10	16	13	0	0	0
УБТС цех 1 пункт 1	0	10	0	10	0	10	10	10	10	0	0	0	0
После оптимизации	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
УБТС цех 1 пункт 4	0	0	0	10	10	10	10	10	10	0	0	0	0
УБТС цех 26 пункт 3	0	0	10	10	10	10	10	10	0	0	0	0	0
УБТС цех 2 пункт 2	0	15	20	25	30	20	10	0	0	0	0	0	0
УБТС цех 1 пункт 1	50	45	30	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 4

Главный календарный план производства

Наименование изделия	Дата выпуска (день от начала планового периода)	Количество изделий
СМ 15-01	22	50
СМ 15-01	44	50
СМ 15-01	66	50

стал более равномерным;

- в последние дни планового периода нагрузка снижается, что дает возможность оперативно решать возможные производственные проблемы.

- значение критерия комфортности увеличено более чем на 20% по сравнению с допустимым планом производства.

Для испытания АСТПП была сформирована экспертная группа, состоящая из специалистов в различных областях знаний (информационные технологии, производство, логистика, экономика). Целью работы группы являлась оценка уровня адекватности полученных результатов. В процессе работы группы были проанализированы все суточные задания, каждому заданию был присвоен определенный балл (от 1 до 10) в зависимости от качества его составления. По результатам был вычислен средний балл, оценивающий качество разработанного с помощью АСТПП плана производства.

Экспертами установлено:

- разработанная АСТПП способна находить планы-графики производства, удовлетворяющие всем производственным ограничениям;

- встроенные средства оптимизации позволяют оптимизировать допустимые планы-графики производства с учетом всех заданных критериев оптимальности;

- дополнительные функции АСТПП позволяют изменять важность критериев оптимальности, реализуя обобщенный критерий в нечеткой постановке;

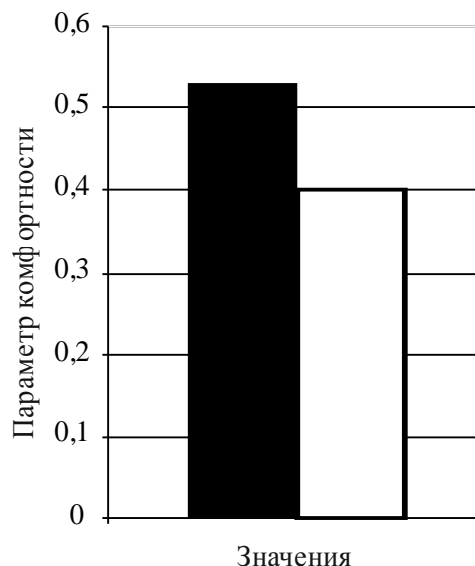
- наличие в АСТПП возможности снижения рисков невыполнения плана позволяет использовать найденные системой производственные планы без корректировок и поправок на неточность данных;

- качество составления плана производства на данный момент может быть оценено на 9 баллов из 10, что подтверждает эффективность работы АСТПП;

- разработанная АСТПП удовлетворяет всем требованиям заказчика и может быть введена в промышленную эксплуатацию.

### **Заключение**

Разработанная автоматизированная система позволяет составлять производственные планы-графики, удовлетворяющие всем жестким и нечетким ограничениям задачи тактического планирования производства. Встроенные в данную систему средства оптимизации позволяют оптимизировать допустимые планы производства с учетом всех предложенных критериев оптимизации. Приведенные в статье демонстрационные примеры показывают эффективность применения разработанной методики.



**Рис. 7. Комфортность производства:**

■ – до оптимизации; □ – после оптимизации

### **Список литературы**

1. Вожаков А.В., Гитман М.Б. Модель календарного планирования с нечеткими ограничениями // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2008. № 4. С. 79–82.
2. Столбов В.Ю., Федосеев С.А. Модель интеллектуальной системы управления предприятием // Проблемы управления. 2006. № 5. С. 36–39.
3. Гаврилов Д.А. Управление производством на базе стандарта MRP II. СПб.: Питер, 2002.
4. APICS Dictionary. 6th ed. American Production and Inventory Control Society, 1987.
5. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / А.Н. Борисов, А.В. Алексеев, Г.В. Меркурьева и др. М.: Радио и связь, 1989. 304 с.

### **List of literature**

1. Vozhakov A.V., Gitman M.B. The model of calendar planning with illegible limitations // Vestnik of MSTU named after G.I.Nosov. 2008. № 4. P. 79–82.
2. Stolbov V.Yu., Fedoseev S.A. The model of the enterprise management intellectual system // The problems of management. 2006. № 5. P. 36–39.
3. Gavrillov D.A. The production management on the basis of the standard MRP II. St.P.: Peter, 2002.
4. APICS Dictionary. 6th ed. American Production and Inventory Control Society, 1987.
5. The processing of illegible information in the decision-making systems. A.N.Borisov, A.V.Alekseev, G.V.Merkurjeva and others. M.: Radio and communication, 1989. 304 p.



УДК 621.002.68 + 621.9

Сергеев С.В.

## ПРИНЦИПЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОНИКАНИЯ И ДВИЖЕНИЯ ВРАЩАЮЩИХСЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ В СПЛОШНЫХ СРЕДАХ\*

Надежность машин, выпускаемых промышленностью, определяется уровнем технологической подготовки их производства, поскольку точность обработки деталей этих машин зависит от степени учета факторов, влияющих на эту точность.

Как показал анализ, применяемые при разработке техпроцессов нормативные документы базируются на учете лишь статических факторов, влияющих на точность обработки, и прочностных характеристик обрабатываемых материалов. Очевидно, что такой подход не отображает динамический характер работы инструментов и не позволяет выявлять и учитывать вибрационные, ударные и резонансные явления на точность формообразования поверхностей. Особенно это проявляется при формообразовании отверстий и узких глубоких пазов вращающимися проникающими инструментами типа сверл, зенкеров, разверток, концевых фрез, также в подобных процессах при бурении скважин и шпуров различными типами буровых инструментов [1].

В настоящее время в ряде передовых технологий наметилась тенденция [2,3] к переходу на принципиально новый научно-технический уровень исследовательских и опытно-конструкторских работ, позволяющий прогнозировать и управлять надежностью обеспечения точности обработки на ранних стадиях создания техпроцессов. Применительно к металлообработке подход предусматривает последовательное выполнение следующих этапов:

– описание реальных условий процессов формообразования внутренних поверхностей многолезвийными вращающимися проникающими инструментами в виде многофакторных случайных процессов их взаимодействия с обрабатываемым материалом;

– разработка математических моделей процессов формообразования, описывающих динамику связанных нелинейных систем при многофакторных случайных взаимодействиях;

– компьютерное моделирование процессов формообразования, анализ статистических характеристик силового и кинематического взаимодействия при

движении вращающихся проникающих инструментов в твердых сплошных средах;

– компьютерное моделирование физических закономерностей формирования точностных отказов, учитывающее случайный характер процессов;

– определение количественных характеристик надежности в виде функций, позволяющих корректирование технологических параметров в целях обеспечения требуемых показателей надежности.

Такой подход к решению проблемы обеспечения точности обработки внутренних поверхностей путем управления вибрацией вращающихся проникающих инструментов при движении их в твердых сплошных средах позволит уже на ранних стадиях проектирования техпроцессов существенно уменьшить возможные погрешности.

### Список литературы

1. Сергеев С.В. Повышение эффективности вибрационных процессов при механической обработке различных материалов: монография. Челябинск: ЮУрГУ, 2004. 262 с.
2. Вибрации в технике: справочник. В 6 т. Т. 2. Колебания нелинейных механических систем / под ред. И.И. Блехмана. 1979. 351 с.
3. Лакирев С.Г., Хилькевич Я.М., Сергеев С.В. Математическое моделирование динамики процессов обработки отверстий мерными инструментами и вибрационная диагностика многоинструментных наладок // Совершенствование машиностроительных материалов, конструкций машин и методов обработки деталей. Челябинск: ЧГУ, 1995. С. 81–161.

### List of literature

1. Sergeev S.V. Efficiency increase of vibrating processes while various materials machining. The monography. Chelyabinsk: South-Ural State University, 2004. 262 p.
2. Vibration in techniques: the reference-book in 6 volumes. Vol. 2. Fluctuations of nonlinear mechanical systems under edition of I.I. Blekhan.
3. Lakirev S.G., Khilkevich Ya. M., Sergeev S.V. Dynamics mathematical modeling of hole machining processes by means of measuring tools and vibrating diagnostics of multiple-tool adjustments. Perfection of machine-building materials, machine designs and parts processing methods.

\* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 07-01-96052-р\_урал\_а и № 08-08-00517-а).

# НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

УДК 669.18.046.518:621.764.27

Пиксаев Е.В., Платов С.И.

## СКОЛЬЖЕНИЕ ЗАГОТОВКИ В РОЛИКОВОЙ ПРОВОДКЕ МНЛЗ

Роликовая проводка МНЛЗ предназначена для сохранения формы заготовки и продвижения ее по технологическому каналу. Износ роликов проводки имеет, в том числе, и абразивный характер. Для оценки влияния геометрических параметров проводки и физических параметров заготовки на интенсивность износа роликов необходима оценка их относительного скольжения [1, 2].

При разливке уровень мениска в кристаллизаторе остается постоянным. Это обеспечивается постоянной подачей в кристаллизатор определенного количества разливки количества стали. Сталь в кристаллизаторе охлаждается, поэтому ниже мениска начинает формироваться оболочка заготовки. Охлаждение оболочки продолжается в роликовой проводке. На отечественных МНЛЗ используется рекомендованный фирмой “Уралмаш” режим вторичного охлаждения, при котором обеспечивается наибольшая скорость затвердевания заготовки при условии, что термические напряжения в ее оболочке не превышают допустимой величины. Соответствующий данному режиму охлаждения закон изменения температуры поверхности оболочки в функции от времени  $t$  с начала ее кристаллизации

$$t_{пр} = k_1 + k_2 / \tau^{k_3}, \quad (1)$$

где  $k_1, k_2, k_3$  – коэффициенты режима охлаждения (выбираются в зависимости от марки стали) (см. таблицу).

В первом приближении распределение температуры по толщине оболочки можно считать линейным. При этом средняя температура оболочки

$$t_{\tau} = (t_{пр} + t_f) / 2, \quad (2)$$

где  $t_f$  – температура на фронте кристаллизации.

Температура на фронте кристаллизации углеродистых и низколегированных сталей может быть определена по известной эмпирической зависимости

$$t_f = 1536 - (200C + 16Si + 6Mn + 93P + 1100S + 1,7Cr + 3,9Ni), \quad (3)$$

где  $C, Si, Mn, \dots$  – процентное содержание химических элементов.

При охлаждении плотность стали увеличивается, в результате чего в оболочке развивается усадка. Величина

на усадки оболочки растет с ростом величины температуры ее переохлаждения ниже температуры затвердевания  $\Delta t_{\tau} = t_f - t_{\tau}$ . В первом приближении можно считать, что величина усадки изменяется линейно в зависимости от температуры переохлаждения оболочки  $y_{\tau} = y_y \Delta t_{\tau} \left[ \frac{\tau_p}{(t_f - 20)} \right] \Delta t_{\tau}$ . Полную усадку стали  $y_p$  можно определить по известной зависимости

$$y_p = [2,35 - (C - 0,04)0,9 - 0,15Si - 0,05Mn - 0,05Ni - 0,02Cr - 0,14Cu - 0,13Mo - 0,5V - 0,12Ti] / 100, \quad (4)$$

где  $C, Si, Mn, \dots$  – процентное содержание химических элементов [3].

Определим, как в результате усадки и распрямления оболочки изменяется скорость ее движения в роликовой проводке.

Сталь, поступившая в кристаллизатор за время  $d\tau$ , размещается в элементарном объеме, величину  $dv_0$  которого можно определить из пропорции

$$2\pi \rightarrow \pi [R_R^2 - (R_R - h_0)^2] b_0 \quad (5)$$

$$d\alpha_0 \rightarrow dv_0,$$

где  $R_R$  – радиус базовой стенки кристаллизатора;  $h_0$  – расстояние между широкими стенками кристаллизатора;  $b_0$  – расстояние между узкими стенками кристаллизатора;  $d\alpha_0$  – центральный угол элементарного объема (рис. 1).

Коэффициенты режима при толщине заготовки 0,25 м

Марки сталей	$k_{11}$	$k_{12}$	$k_{13}$
Низкоуглеродистые, электротехнические, низколегированные, $C \leq 0,1\%$ , нержавеющие (аустенитные)	774	602	0,50
Трубные, низколегированные, $C \geq 0,1\%$ , легированные	748	618	0,34
Высокоуглеродистые, нержавеющие (ферритные и мартенситные)	886	491	0,35

Центральный угол элементарного объема, расположенного у мениска, найдем из выражения

$$d\alpha_0 = v_0 d\tau / R_R.$$

Масса стали в этом объеме

$$dm_0 = dv_0 \rho_g \frac{v_0 \rho_g d\tau}{2R_R} \{ b_0 h_0 [2R_R - h_0] \}, \quad (6)$$

где  $\rho_g$  – плотность жидкой стали.

Через поперечное сечение роликовой проводки, отстоящее на расстоянии  $l$  от мениска, и за то же время  $d\tau$  проходит элементарный объем. Величину объема  $dV_l$  определили из пропорции

$$\begin{aligned} 2\pi &\rightarrow \pi [R_l^2 - (R_l - h_l)^2] b_l \\ d\alpha_l &\rightarrow dv_l, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $R_l$  – радиус профиля роликовой проводки;  $h_l = h_0(1 - y_s \Delta t_l)$  – толщина заготовки;  $b_l = b_0(1 - y_s \Delta t_l)$  – ши-

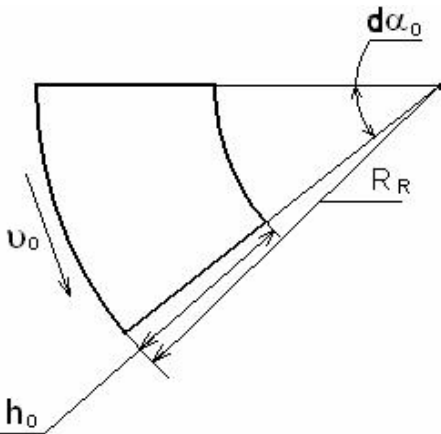


Рис. 1. Элементарный объем стали у мениска

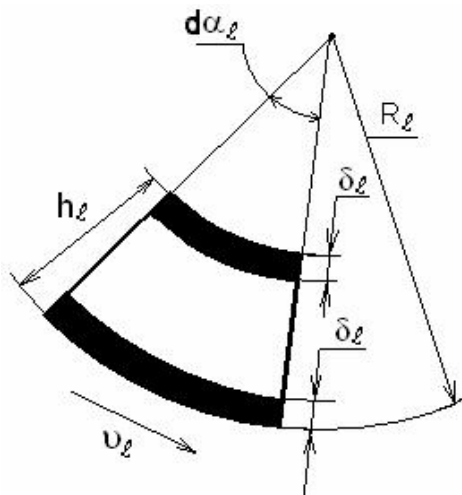


Рис. 2. Элементарный объем стали на расстоянии  $l$  от мениска

рина заготовки;  $d\alpha_l$  – центральный угол элементарного объема (рис. 2).

Центральный угол элементарного объема, расположенного на расстоянии  $l$  от мениска, найдем из выражения

$$d\alpha_l = v_l d\tau / R_l.$$

В пределах радиального участка  $R_l = R_R$ , а в пределах участка распрямления

$$R_l = R_R \left[ (1 - m) + ml_K / (l_R + l_K - l) \right], \quad (8)$$

где  $m$  – коэффициент профиля участка распрямления (характеризует интенсивность изменения  $R$  профиля участка распрямления);  $l_R$  и  $l_K$  – длины радиального участка и участка распрямления;  $l$  – расстояние до рассматриваемой точки.

Величину части элементарного объема, заполненной жидкой сталью, можно определить из пропорции

$$2\pi \rightarrow \pi \left[ (R_l - \delta_l)^2 - (R_l - h_l - \delta_l)^2 \right] (b_l - 2\delta_l) \quad (9)$$

$$d\alpha_l \rightarrow dv_{gl},$$

где  $\delta_l = k_k \sqrt{\tau}$  – толщина оболочки;  $k_k = 0,0033 \text{ м/с}^{0,5}$  коэффициент кристаллизации заготовки;  $\tau$  – время.

А величину части элементарного объема, занимаемой его твердой оболочкой, как разность

$$dv_{tl} = dv_l - dv_{gl}. \quad (10)$$

Масса стали  $dm_l$  в данном объеме

$$dm_l = dm_{tl} + dm_{gl} = dv_{gl} \rho_g + dv_{tl} \rho_{tl}, \quad (11)$$

где  $dm_{tl}$  – масса твердой оболочки элементарного объема;  $dm_{gl}$  – масса жидкой стали в элементарном объеме;  $\rho_{tl} = \rho_g (1 + y_s \Delta t_l)$  – плотность стали в оболочке.

Выражение (11) после необходимых подстановок и преобразований примет следующий вид:

$$\begin{aligned} dm_l = \frac{v_l d\tau}{2R_l} \times \\ \times \left\{ \rho_g (b_l - 2\delta_l) \left[ (R_l - \delta_l)^2 - (R_l - h_l - \delta_l)^2 \right] + \right. \\ \left. + \rho_{tl} \left\{ b_l \left[ R_l^2 - (R_l - h_l)^2 \right] - (b_l - 2\delta_l) \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \left[ (R_l - \delta_l)^2 - (R_l - h_l - \delta_l)^2 \right] \right\} \right\} \quad (12) \end{aligned}$$

При стабильном процессе непрерывной разливки

$$dm_l = dm_0. \quad (13)$$

После подстановки выражений (6) и (12) в выражение (13) и необходимых преобразований получим

выражение для скорости заготовки

$$v_l = \frac{v_0 \rho_g R_l}{R_R} b_0 h_0 (2R_R - h_0) : \left( \rho_g (b_l - 2\delta_l) \left[ (R_l - \delta_l)^2 - (R_l - h_l - \delta_l)^2 \right] + \rho_{fl} \left\{ b_l \left[ R_l^2 - (R_l - h_l)^2 \right] - (b_l - 2\delta_l) \times \left[ (R_l - \delta_l)^2 - (R_l - h_l - \delta_l)^2 \right] \right\} \right) \quad (14)$$

Изменение скорости движения  $\Delta v$  ( $v_l - v_0$ ) по роликовой проводке МНЛЗ №4 ОАО “ММК” заготовок из стали марки 08Ю ( $y_p=2,3\%$ , кривая 1) и стали 70 ( $y_p=1,6\%$ , кривая 2), определенное с использованием выражения (14), представлено на рис. 3. Начальную скорость движения заготовки приняли равной 0,7 м/мин.

Из анализа результатов расчета следует, что заготовки движутся в роликовой проводке с переменной скоростью, отличной от скорости разливки, из чего следует, что имеет место их относительное скольжение. Величина скольжения заготовок из сталей различных марок различная. На радиальном участке роликовой проводки скольжение определяется усадочными характеристиками стали: чем больше величина усадки, тем больше величина скольжения. На участке распрямления определяющее влияние на величину скольжения оказывает изменение кривизны его профиля.

Так же были рассчитаны фактическое и максимальное значения предварительного смещения заготовки из сталей данных марок. Из расчетов видно, что по всей длине участка фактическое значение предварительного смещения больше максимального значения предварительного смещения, что также говорит о наличии скольжения заготовки относительно роликов.

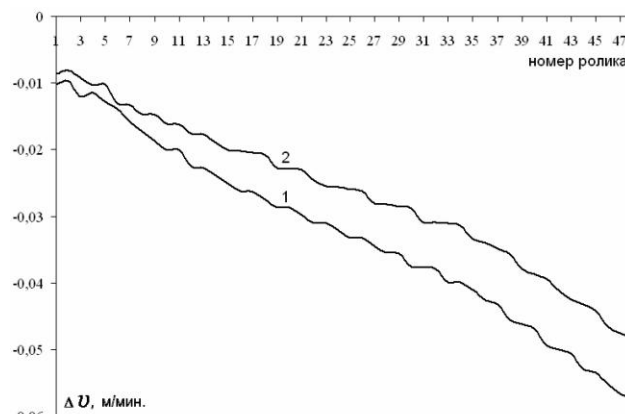


Рис. 3. Изменение скорости заготовки  $\Delta v$  ( $v_l - v_0$ )

Полученные результаты могут быть использованы при определении абразивного износа бочек роликов роликовой проводки.

### Список литературы

1. Нисковских В.М., Карлинский С.Е., Беренов А.Д. Машины непрерывного литья слябовых заготовок. М.: Metallurgy, 1991. 272 с.
2. Виноградов В.Н., Сорокин Г.М., Колокольников М.Г. Абразивное изнашивание. М.: Mashinostroyeniye, 1990. 222 с.
3. Грузных И.В., Оболенцев И.Д. Надежность и технологичность в производстве стальных слитков. СПб.: Политехника, 1992. 372 с.

### List of literature

1. Niskovskih V.M., Karlinsky S.E., Berenov A.D. Continuous casting machines for slabs // M.: Metallurgy, 1991. 272 p.
2. Vinogradov V.N., Sorokin G.M., Kolokolnikov M.G. Abrasive wear process // M.: Mashinostroyeniye, 1990. 222 p.
3. Gruznyh I.V., Obolencev I.D. Reliability and adaptability in manufacturing of steel ingots // St. Petersburg: Polytechnics, 1992. 372 p.



# ЭНЕРГЕТИКА МЕТАЛЛУРГИИ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

УДК 621.771.06-114-52

Селиванов И.А., Петухова О.И., Бодров Е.Э., Суздаlev И.В.

## СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ СТАНОВ С МНОГОВАЛКОВЫМИ КАЛИБРАМИ

Анализ литературных источников [1–3] показывает, что с целью уменьшения отклонений размеров сечения готового проката на непрерывных станах, на которых нет возможности изменять зазоры между валками во время прокатки, возможно применение двух типов систем регулирования:

- систем стабилизации натяжения;
- систем, в которых натяжение изменяется по заданному закону в зависимости от величины какого-либо технологического параметра, характеризующего размеры сечения раската.

Первый тип систем регулирования позволяет уменьшить отклонения размеров профиля, вызванные изменениями только одного технологического фактора – натяжения. Другие факторы, влияющие на точность прокатываемых профилей, не контролируются.

Второй тип систем регулирования требует наличия датчика, дающего информацию или непосредственно (прямо), или косвенно о размерах прокатываемого профиля в клетях непрерывного стана.

### 1. Система косвенного регулирования межклетевых натяжений

Все технологические параметры непрерывной прокатки (натяжения, моменты, давления, размеры и т.д.) взаимосвязаны. Поэтому для вычисления межклетевых натяжений возможны несколько способов. Один из них наиболее простой, это вычисление натяжения по моменту приводного двигателя. Момент двигателя на валу любой клетки определяется уравнением

$$M_i = M_{C,i} + M_{F0,i} - M_{F1,i} + M_{D,i}, \quad (1)$$

где  $M_{C,i}$  – момент свободной прокатки в  $i$ -й клетке;  $M_{D,i}$  – динамический момент;  $M_{F0,i}$ ,  $M_{F1,i}$  – моменты, определяемые задним и передним натяжением:

$$M_{F0,i} = RF_{0,i} = RF_{i-1}; \quad M_{F1,i} = RF_{1,i} = RF_i. \quad (2)$$

Момент свободной прокатки зависит от обжатия в клетке (входного и выходного размеров), коэффициента трения ( $f$ ), предела текучести прокатываемого металла ( $\sigma_s$ ).

$$M_{C,i} = M_{C0,i} + c_{6,i} \Delta D_i + c_{7,i} \Delta a_i + c_{8,i} \Delta f_i + c_{9,i} \Delta \sigma_{s,i}, \quad (3)$$

где  $c_{6,i}$ ,  $c_{7,i}$ ,  $c_{8,i}$ ,  $c_{9,i}$  – технологические коэффициенты,

$$c_6 = \frac{\partial M}{\partial D}, \quad c_7 = \frac{\partial M}{\partial \alpha}, \quad c_8 = \frac{\partial M}{\partial f}, \quad c_9 = \frac{\partial M}{\partial \sigma_s}; \quad \Delta D_i, \Delta a_i -$$

приращения входного и выходного размеров.

При необходимости в уравнении (3) можно учесть влияние на  $M_{C,i}$  и других технологических параметров, например температуры ( $c_{T,i} \Delta T_i$ ).

При постоянном магнитном потоке приводного двигателя уравнение (1) можно привести к виду

$$I_i = I_{C,i} + I_{0,i} - I_{1,i} + I_{D,i}, \quad (4)$$

где  $I_i$  – полный ток  $i$ -го двигателя;  $I_{C,i}$  – ток свободной прокатки в установившемся режиме в  $i$ -й клетке;  $I_{0,i}$ ,  $I_{1,i}$  – токи, пропорциональные заднему и переднему натяжению;  $I_{D,i}$  – динамический ток.

Из последнего уравнения вытекает

$$I_{1,i} = I_{C,i} + I_{0,i} + I_{D,i} - I_i, \quad (5)$$

Если поддерживать неизменной составляющую тока  $I_{1,i}$ , то переднее натяжение  $F_{1,i}$  будет стабилизировано.

На рис. 1 представлена система, реализующая описанный способ косвенного регулирования натяжения.

Основную сложность при реализации предложенной схемы косвенного регулирования натяжения представляет блок вычисления и задания тока свободной прокатки (блок б). Для вычисления текущего задания этого тока во время прокатки необходима информация о технологических параметрах (2). Эту информацию можно получить с помощью технологических датчиков или с помощью математической модели, работающей в реальном масштабе. В первом случае потребуется несколько датчиков вместо одного датчика натяжения, а во втором – целый вычислительный комплекс на базе микропроцессора. В том и другом случае система косвенного регулирования натяжения из-за сложности выполнения и наладки скорее проигрывает, чем выигрывает по сравнению с системой прямого регулирования.

Если не вводить коррекции в блок б об изменяющихся технологических параметрах, то этот блок превращается в простой блок задания, реализация которого не представляет никаких трудностей. Однако

точность поддержания натяжения на заданном уровне в этом случае невысокая.

При изменении диаметра на входе клетки на 12% натяжение поддерживается с точностью 19% [3].

При изменении коэффициента трения на 10% точность поддержания натяжения равна 3,4%. При изменении предела текучести катанки на 10% натяжение поддерживается с точностью 9,6% [3].

Из сказанного можно сделать следующие выводы:

1. Система косвенного регулирования натяжения с вычислительным блоком момента свободной прокатки из-за своей сложности не имеет каких-либо преимуществ перед системой прямого регулирования.

2. Без ввода коррекции об изменяющихся технологических параметрах рассмотренная система поддерживает натяжения на заданном уровне с невысокой точностью. В этом случае она работает как система стабилизации полного тока (момента) приводного двигателя.

## 2. Разработка нового способа управления непрерывным станом

Анализ работы системы косвенного регулирования натяжения показал, что без ввода коррекции в ток свободной прокатки система работает в режиме стабилизации полного тока двигателя. При изменении технологических параметров, например при увеличении диаметра катанки, увеличиваются и межклетевые натяжения. На давление металла на валки эти два фактора (увеличение диаметра и натяжения) действуют в разные стороны, вследствие чего размер на выходе из клетки возрастает в меньшей степени, чем в случае стабилизации межклетевых натяжений.

Таким образом, в рассматриваемом случае вырав-

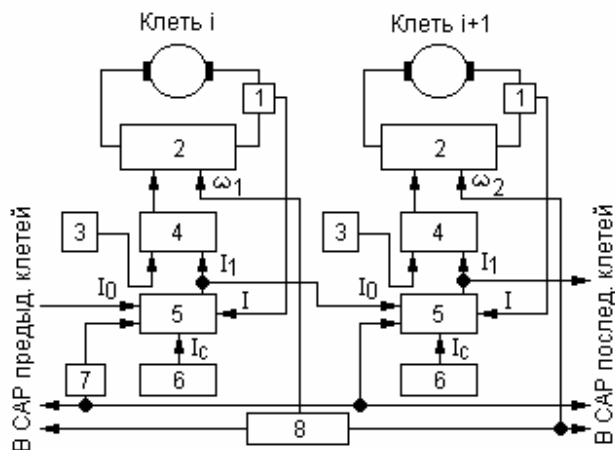


Рис. 1. Блок-схема косвенного регулирования натяжений: 1 – датчики токов приводных двигателей; 2 – силовые преобразователи с системами регулирования скорости клеток; 3 – блоки задания передних натяжений; 4 – регуляторы натяжений; 5 – сумматоры; 6 – блоки вычисления и задания тока свободной прокатки; 7 – блок выделения и задания динамического тока; 8 – блок задатчика интенсивности и задания скорости по клетям

нивающие свойства непрерывного стана не ослабляются, а усиливаются. Сказанное легло в основу нового способа управления непрерывным станом как способ косвенного регулирования размеров профиля на непрерывном стане [4].

Сущность способа состоит в поддержании статических моментов (токов) двигателей клеток (кроме одной) постоянными, независимо от изменения технологических условий. При изменении технологических параметров (поперечного сечения исходной заготовки, коэффициента трения, предела текучести) эффект постоянства момента достигается за счет изменения межклетевых натяжений в ту или другую сторону. При этом изменения натяжений способствуют уменьшению колебаний давления металла на валки, а значит, и уменьшению продольной разнотолщинности раската, вызванного изменением технологических параметров.

Эффективность предлагаемого способа управления в выравнивании продольной разнотолщинности можно проиллюстрировать с помощью несложных расчетов [3].

По результатам расчетов на рис. 2 и 3 построены зависимости изменения выходного размера  $\Delta a_i$  по клетям пятиклетевых стана.

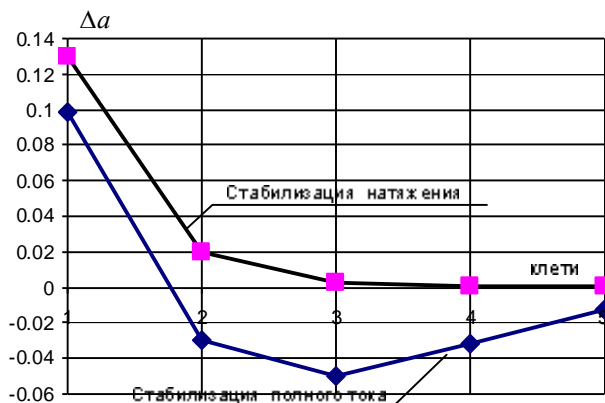


Рис. 2. Изменение выходного размера по клетям при  $\Delta D_1 = 0,8 \text{ мм}$ ,  $\Delta f = 0$ ,  $\Delta \sigma_s = 0$

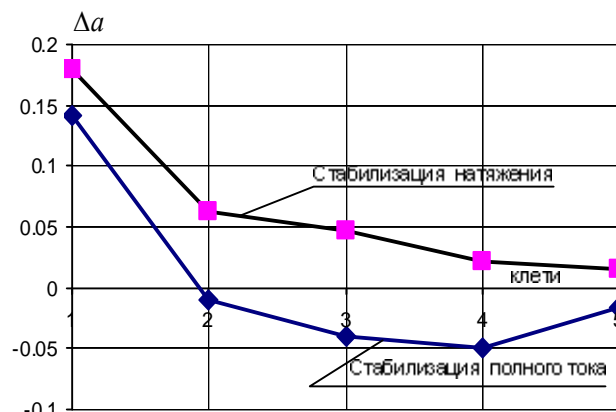


Рис. 3. Изменение выходного размера по клетям при  $\Delta D_1 = 0,8 \text{ мм}$ ;  $\Delta f = 0,1$ ;  $\Delta \sigma_s = 8 \text{ кгс/мм}^2$

Анализ полученных результатов позволяет сказать следующее:

1. Система стабилизации момента прокатки в ведомых клетях, реализующая предложенный способ управления непрерывным станом, как и система стабилизации межклетевых натяжений, обеспечивает получение передельной проволоки с допусками, не превышающими допусков на волоочную проволоку.

2. При возмущающих воздействиях в виде изменения входного размера, коэффициента трения, предела текучести металла выравнивающая способность предложенного способа больше, чем при стабилизации натяжения, если рассматривать каждую клеть в отдельности.

Если рассматривать стан в целом и в качестве критерия взять выходной размер готовой проволоки, то выравнивающая способность стана при стабилизации натяжения несколько выше. Последнее объясняется перерегулированием выходного размера в первых клетях стана (см. рис. 2, 3) при стабилизации моментов

прокатки в ведомых клетях, т.е. отклонения размеров в первых клетях не только сводятся к нулю, но и получают обратный знак. Этот недостаток предложенного способа можно существенно ослабить, если в качестве ведущей клетки взять не последнюю клеть.

Аналогичного эффекта можно достичь при изменении задания на момент (ток) одной из ведомых клетей пропорционально изменению момента прокатки ведущей клетки, т.е. при коррекции момента ведомой клетки по уравнению

$$\Delta M_i = k_{кор} \cdot \Delta M_{вщ}, \tag{6}$$

где  $k_{кор}$  – коэффициент пропорциональности, определяемый расчетным или опытным путем.

Сказанное подтверждается расчетами, приведенными на рис. 4 и 5 [3].

Проведенные исследования нового способа управления непрерывным станом позволяют утверждать:

1. Система стабилизации моментов прокатки всех клетей, кроме последней, реализующая предложенный способ, по своей выравнивающей способности продольной разнотолщинности практически равноценна системе стабилизации межклетевых натяжений.

2. Соответствующий выбор ведущей клетки или коррекция задания на момент двигателя какой-либо ведомой клетки дают возможность получить точность размеров передельной проволоки на 2–3 порядка выше, чем в случае стабилизации натяжений [3].

### 3. Системы регулирования с регуляторами полного тока

Основная идея способа управления непрерывным станом заключается в разделении клетей стана на ве-

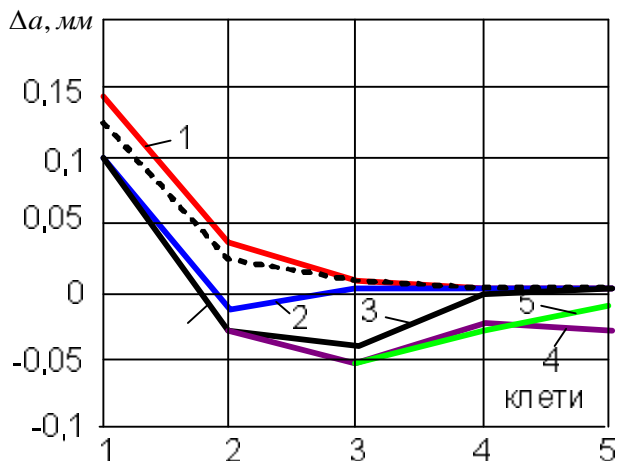


Рис. 4. Влияние номера ведущей клетки (1, 2, ..., 5) на выходные размеры по клетям при  $\Delta D_1 = 0,8$  мм,  $\Delta f = 0$ ,  $\Delta \sigma_s = 0$

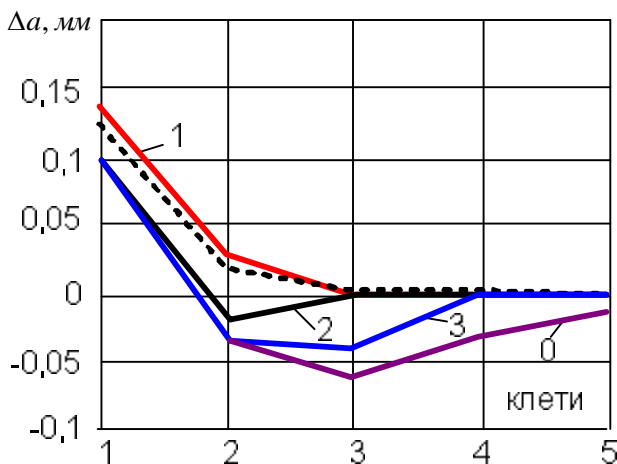


Рис. 5. Влияние коррекции задания на момент ведомой клетки (1, 2, 3) на выходные размеры по клетям при  $\Delta D_1 = 0,8$  мм,  $\Delta f = 0$ ,  $\Delta \sigma_s = 0$  (кривая 0 для системы стабилизации момента первых 4 клетей без коррекции)

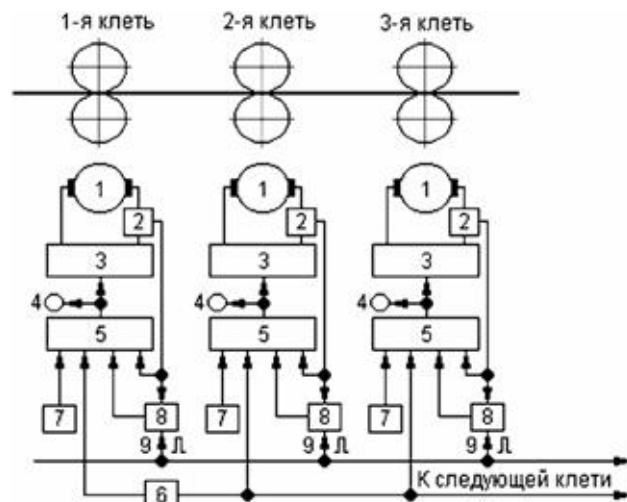


Рис. 6. Блок-схема системы стабилизации полного тока приводных двигателей ведомых клетей:  
 1 – двигатели клетей; 2 – датчики тока;  
 3 – преобразователи и системы управления с регуляторами тока, скорости, полного тока;  
 4 – измерительные приборы; 5 – сумматоры; 6 – блок динамического тока; 7 – блок ручного задания полного тока; 8 – запоминающий блок; 9 – команда «запомнить»

домые и ведущую. Системы управления электроприводом ведомых клетей должны обеспечивать стабилизацию моментов приводных двигателей на заданном уровне. Система электропривода ведущей клетки строится по традиционной схеме управления, замкнутом по скорости, и должна обеспечивать выход стана на заданную скорость прокатки и компенсацию всех неточностей и ошибок в определении заданий на моменты ведомых клетей за счет изменения межклетевых натяжений.

Метод стабилизации моментов ведомых клетей и определение их заданий зависит от конкретных схемных решений [5, 6]. По сути система косвенного регулирования натяжений (см. **рис. 1**), рассмотренная в п. 2 при неизменных заданиях на статический ток свободной прокатки и ток переднего натяжения является системой стабилизации моментов ведомых клетей (**рис. 6**).

Система управления станом (см. **рис. 6**) предусматривает работу в «ручном» и «автоматическом» режимах. В режиме ручного управления интегральные регуляторы полного тока выведены из работы. Системы электроприводов ведомых и ведущей клетей имеют одинаковую структуру двухконтурных САР скорости. В этом режиме осуществляется заправка полосы в стан и моталку. После заправки полосы стан от общего задатчика интенсивности ЗИ разгоняется до заправочной скорости. На этой скорости оператор в случае необходимости корректирует межклетевые натяжения соответствующим изменением скоростей приводных двигателей. Далее он выставляет задания на токи прокатки ведомых клетей: с помощью блоков 7 (см. **рис. 6**) добивается нулевых показаний измерительных приборов 4 (вольтметров), включенных на выходы сумматоров 5. В режиме автоматического запоминания токи прокатки запоминаются блоком 8.

После установки заданий на токи прокатки ведомых клетей подаются команды на ввод в работу регуляторов полного тока и разгон стана до рабочей скорости.

### Список литературы

1. Дружинин Н.Н. Непрерывные станы как объект автоматизации. М.: Металлургия, 1975. 336 с.
2. Филатов А.С. Автоматическое регулирование толщины полосы в реверсивных станах холодной прокатки // Труды V Все-союз. конференции по автоматизированному электроприводу. М.: Энергия, 1971. С. 168–171.
3. Продольная разнотолщинность при холодной прокатке в много-валковых калибрах / Никифоров Б.А., Селиванов И.А. и др. // Изв. вузов. Черная металлургия. 1976. №9. С. 113–116.
4. А.с. 555928 СССР. Способ регулирования размеров проката на непрерывном проволочном стане / Поляков М.Г., Селиванов И.А. и др.
5. Система регулирования размеров проката для непрерывных сортовых и проволочных станов / Селиванов И.А., Шохин В.В., Лебединский И.Л. // Электропривод. 1981. №5 (94). С. 17–19.
6. А.с. 950459 СССР. Устройство ограничения межклетевых натяжений на непрерывном прокатном стане / Бьчков В.П., Селиванов И.А. и др.

### List of literature

1. Druzhinin N.N. Continuous Mills as an Object of Automation. M.: Metallurgy, 1975. 336 p.
2. Filatov A.S. Automatic Control of Roll Strip Gauge in Cold-Roll Reversing Mills // Transactions of the V All-Union Conference in Automatic Electric Drive. M.: Energy, 1971. P. 168–171.
3. Longitudinal Cold Roll Uneven Gauge in Multiroll Calibers / Nikiforov B.A., Selivanov I.A. and others // Proceedings of Higher Educational Institutions. Ferrous Metallurgy. 1976. № 9. P. 113–116.
4. Author's Certificate 555928 (USSR). The way of Control of Rolled Stock Sizes on Continuous Rod Mill / Polyakov M.G., Selivanov I.A. and others.
5. Control System of Rolled Stock Sizes for Continuous Roll Merchant and Rod Mills / Selivanov I.A., Shokhin V.V., Lebedinsky I.L. // Electrical Drive. 1981. № 5 (94). P. 17–19.
6. Author's Certificate 950459 (USSR). Limitation Unit of Interstands Tention on Continuous Rolling Mill / Bychkov V.P., Selivanov I.A. and others.



# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 666.942: 666.852

Мирюк О.А.

## СИНТЕЗ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ С УЧАСТИЕМ АЛЬБИТА

Пестрый химико-минеральный состав техногенного сырья предопределяет возможность его применения в технологии различных строительных материалов. Для повышения эффективности использования нового сырья важны представления о влиянии минералов на процессы синтеза вяжущих веществ.

Альбит  $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$  – каркасный алюмосиликат, представитель кальциево-натриевых полевых шпатов, конечный член изоморфного ряда плагиоклазов. Структура альбита представлена в виде цепочек из вытянутых четверных колец тетраэдров  $[\text{SiO}_4]$  и  $[\text{AlO}_4]$ , соединенных между собой в каркасы, в пустотах которых находятся ионы натрия. Альбит образуется в гидротермальных условиях. Характерными продуктами последующих гидротермальных изменений плагиоклазов являются скаполит, эпидот, мусковит. Альбит – щелочесодержащая составляющая техногенного сырья.

*Цель работы* – исследование влияния минерала альбита на формирование цементных клинкеров, на гидратообразование и упрочнение вяжущих систем.

Особенности клинкерообразования с участием щелочей достаточно подробно освещены в работах [1–3]. Однако превращения в цементном сырье с альбитом изучены мало. Представляют интерес процессы фазообразования при обжиге альбитсодержащей смеси для получения

клинкера и влияние на них сульфата кальция.

Исследованы фазовые превращения при обжиге модельной смеси карбоната кальция (химический реактив  $\text{CaCO}_3$ ) с альбитом – природным минералом  $\text{NAS}_6$  (приняты обозначения  $\text{SiO}_2 - \text{S}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{A}$ ,  $\text{Na}_2\text{O} - \text{N}$ ,  $\text{CaO} - \text{C}$ ,  $\text{CaSO}_4 - \text{CS}$ ) при их соотношении 3:1. В одну из шихт вводили 5%  $\text{CaSO}_4$  сверх 100%. Изменение фазового состава смесей определяли с помощью термического анализа и по дифрактограммам продуктов обжига.

Превращения в смеси карбоната кальция и альбита начинаются при  $850^\circ\text{C}$  и заключаются в постепенном отщеплении  $\text{SiO}_2$  от  $\text{NAS}_6$ . Процесс каталитически ускоряется с появлением  $\text{CaO}$  при декарбонизации  $\text{CaCO}_3$ . Из продуктов распада исходных минералов формируются  $\text{CAS}_2$ ,  $\text{C}_2\text{AS}$ ,  $\text{CS}$  (экзотермический эффект при  $980^\circ\text{C}$ , **рис. 1**). При плавлении альбита (эндотермический эффект при  $1120^\circ\text{C}$ ) интенсифицируется образование белита  $\text{C}_2\text{S}$ , увеличивается число промежуточных соединений (**рис. 2**). При  $1200^\circ\text{C}$  вероятны взаимодействия:



Дальнейшее нагревание до  $1250^\circ\text{C}$  и выше сопровождается превращениями:

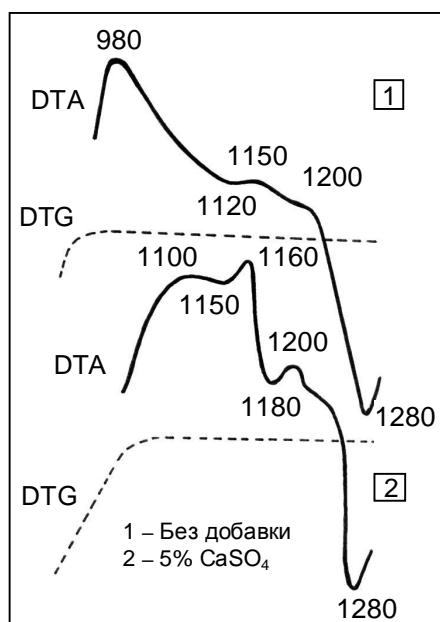


Рис. 1. Термограммы смесей с альбитом

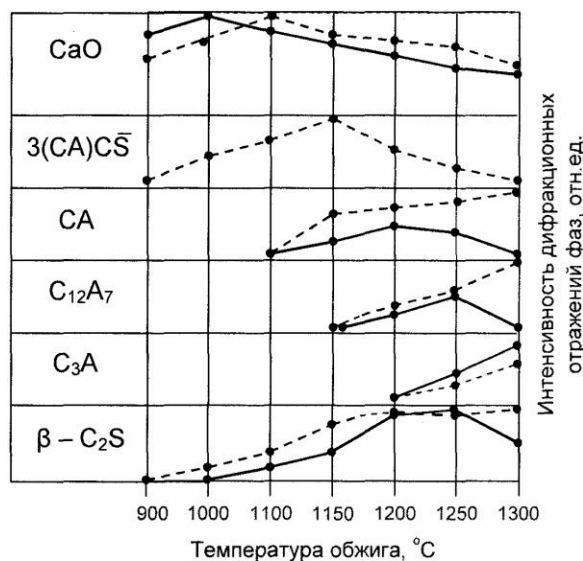
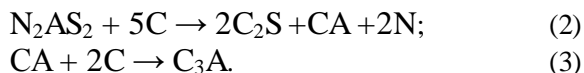


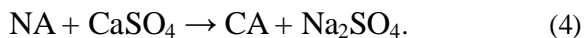
Рис. 2. Изменение фазового состава при обжиге альбитсодержащих смесей (пунктир – с добавкой  $\text{CaSO}_4$ )



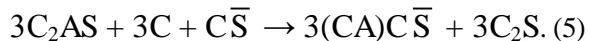
Такой ход преобразований подтверждается исчезновением на дифрактограмме спека (1300°C) отражений  $\text{N}_2\text{AS}_2$  с  $d=0,423; 0,255; 0,149$  нм, появлением максимумов  $\text{C}_3\text{A}$  с  $d=0,271; 0,190; 0,155$  нм (рис. 3). Выделяющаяся щелочь растворяется в двухкальциевом силикате, чем обусловлен модификационный переход  $\beta \rightarrow \alpha'_m - \text{C}_2\text{S}$  ( $d=0,281; 0,271; 0,194$  нм). Этому способствует усиление стабилизирующей роли  $\text{Na}_2\text{O}$  при сочетании с  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Алюминаты кальция интенсивно насыщаются до  $\text{C}_3\text{A}$  (см. рис. 2). При температуре 1300°C в спеке значительна концентрация свободного  $\text{CaO}$ , однако алит  $\text{C}_3\text{S}$  не образуется. По утверждению Классена В.К. [2], в присутствии щелочей изменяется область термодинамической устойчивости алита,  $\text{Na}_2\text{O}$  вытесняет  $\text{CaO}$  из  $\text{C}_3\text{S}$  даже в интервале стабильности трехкальциевого силиката.

Введение  $\text{CaSO}_4$  в альбитсодержащую смесь сопровождается взаимодействием добавки с продуктами распада  $\text{NAS}_6$ :

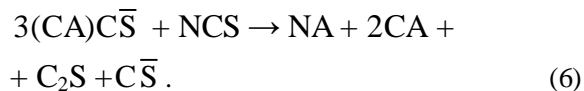


Уменьшение доли низкотемпературного  $\text{CaO}$  (см. рис. 2) и ход кривой DTG в температурном интервале 900–1050°C (см. рис. 1) свидетельствуют о затянувшейся декарбонизации. Согласно [2] диссоциация карбоната сдерживается в связи с переходом части  $\text{CaCO}_3$  в состав твердого раствора с сульфатом натрия. Декарбонизация  $\text{CaCO}_3$ , внедренного в решетку  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , наступает при температуре выше 960°C. Вероятно также образование  $2(\text{C}_2\text{S})\text{CaCO}_3$  на основе щелочных силикатов натрия и белита, появление которого активизируется сульфатом натрия. Щелочные соединения, способствующие низкотемпературному плавлению вещества, снижают температуру образования  $\text{C}_2\text{S}$  и одновременно задерживают диссоциацию  $\text{CaCO}_3$ . Таким образом, в активном расплаве обеспечивается контакт необходимых фаз. В последующем в обжигаемой смеси образуется  $3(\text{CA})\text{C}_2\text{S}$  на основе  $\text{CA}$ , а также при разложении геленита:



Экзотермический эффект при 1160°C (см. рис. 1) характеризует указанный процесс. Распад промежуточных алюмосиликатов кальция, инициированный  $\text{CaSO}_4$ , способствует ускоренному образованию белита в сульфатсодержащей смеси. Интенсивному формированию  $\text{C}_2\text{S}$  благоприятствует плавление альбита при 1150°C.

Устойчивость  $3(\text{CA})\text{C}_2\text{S}$  в высококремнеземистой смеси ограничена. Под действием щелочного силиката кальция сульфоалюминат разлагается:



Высвобожденный  $\text{CaSO}_4$  связывается в силико-сульфат кальция, а при взаимодействии первого с  $\text{NA}$  по реакции (4) выделяется  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , большая часть которого возгоняется. При нагревании свыше 1250°C завершается разложение алюмосиликатов кальция и комплексных соединений. Фазовый состав спека при температуре 1300°C (см. рис. 3) представлен  $\beta$  – двухкальциевым силикатом и алюминатами кальция различной основности. Поглощение щелочи сульфатной добавкой препятствует растворению первой в фазах высокотемпературного обжига и стабилизации  $\alpha'_m - \text{C}_2\text{S}$ . Концентрация  $\text{CaO}$  в сульфатсодержащем спеке выше, чем в бездобавочном за счет  $\text{CaSO}_4$  и преобладания низкоосновных алюминатов, а также замедления высокотемпературных взаимодействий.

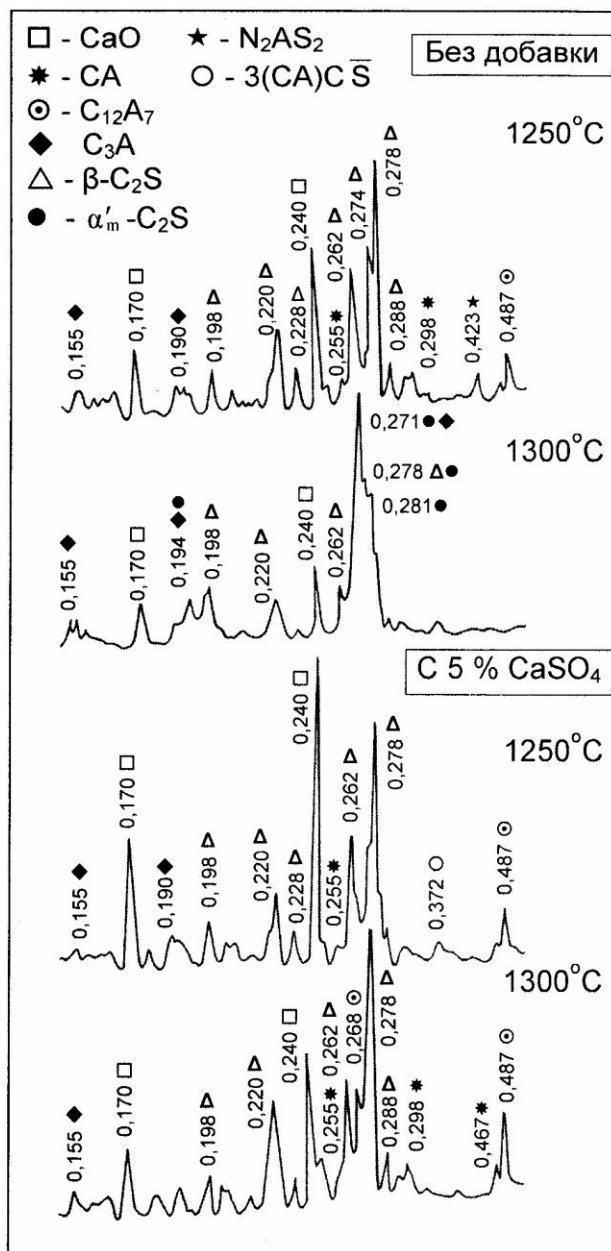


Рис. 3. Рентгенограммы спеков альбитсодержащих смесей

Вследствие кинетических процессов  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  препятствует реакции между  $\text{CaO}$  и  $\text{C}_2\text{S}$ , затрудняя синтез алита и насыщение алюминатов кальция.

Весьма интересно поведение альбита в составе *твердеющих* систем. Широкое распространение полевых шпатов в земной коре обусловило повышенный интерес к участию этих минералов в гидратообразовании различных систем.

По данным К.К.Куатбаева [4], растворение альбита в условиях гидротермальной обработки происходит с образованием  $\text{Si}(\text{OH})_4$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{NaOH}$ . При этом в раствор, в первую очередь, выделяются щелочь, кремнезем, а затем глинозем.

Такой порядок объясняют [5] тем, что при начальном растворении происходит неполное гидролитическое высвобождение ионов тетраэдрического алюминия и некоторые альбитовые кольца остаются в виде комплексных молекул  $\text{Na}[\text{SiAlO}_2(\text{OH})_4]$ , которые затем растворяются с образованием  $\text{Si}(\text{OH})_4$  и  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . В этих условиях в твердой фазе глинозем накапливается в виде бемита [5].

Альбит проявляет активность при оксихлоридном твердении в составе магнезиально-силикатного вяжущего. Прочностные свойства модельного магнезиально-альбитового вяжущего зависят от состава активизирующего компонента (см. таблицу). Гидратационные свойства минерала в значительной степени определяются присутствием  $\text{MgCl}_2$ . Затворение вяжущего раствором  $\text{MgSO}_4$  сопровождается уменьшением прочностных показателей (см. таблицу). Замена части каустического магнезита полуводным гипсом замедляет твердение, однако ухудшение прочностных характеристик в данном случае не столь значительно. Это подтверждает преимущества ( $\text{MgO} + \text{MgCl}_2$ ) как активизатора твердения минерального компонента. Сопоставление влияния затворителей, содержащих в составе хлориды и сульфаты, показывает, что при увеличении радиуса аниона прочность камня вяжущего снижается. Поляризуемость  $\text{SO}_4^{2-}$  больше, чем  $\text{Cl}^-$ , и следовало ожидать повышенной прочности сульфатсодержащего камня. Высокая гидравлическая активность вяжущих, затворенных хлоридами, по мнению авторов [6], связана со способностью хлорид-ионов к участию в образовании мостиковых полимерных структур, упрочняющих цементный камень.

**Влияние состава на свойства вяжущего**

Состав вяжущего, %			Затворитель	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа, образцов размером 2×2×2 см в возрасте, сут		
Каустический магнезит	Полуводный гипс	Альбит			Вид	1	28
35	0	65	$\text{MgCl}_2$	1,22	27	58	61
35	0	65	$\text{MgCl}_2$	1,28	39	74	67
35	0	65	$\text{MgSO}_4$	1,22	11	42	54
23	12	65	$\text{MgCl}_2$	1,22	15	50	59
100	0	0	$\text{MgCl}_2$	1,22	41	63	57

По данным рентгенофазового анализа, состав кристаллогидратов камня вяжущего представлен в основном гидрооксихлоридом магния  $5\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  (5 – форма). Результаты термического анализа (рис. 4) свидетельствуют, что, наряду с гидрооксихлоридом магния (эндоэффекты при 180, 380, 550°С), в затвердевшем вяжущем содержатся рентгеноаморфные гидроксиды кремния (эндоэффект при 150°С), алюминия (эндоэффекты при 280 и 550°С), гидросиликаты магния (эндоэффект при 150 и 550°С). В камне длительного твердения (120 сут) вероятно образование гидроалюмосиликатных структур (эндоэффект при 330°С), связавших гидроксид алюминия.

Активное участие альбита в формировании гидратов подтверждают данные ИК-спектроскопии (рис. 5). Полосы поглощения с 425, 455, 525, 600, 615, 650, 725, 765, 1040, 1110, 1155, 1440, 1610  $\text{cm}^{-1}$ , характерные для альбита [7], менее выразительны на спектре камня вяжущего.

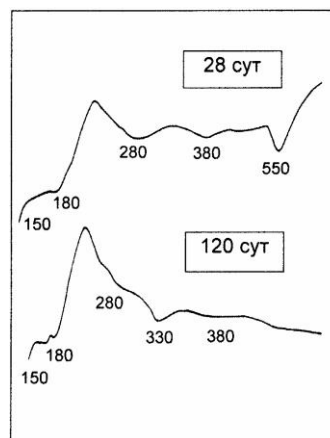


Рис. 4. Термограммы гидратированного магнезиально-альбитового вяжущего

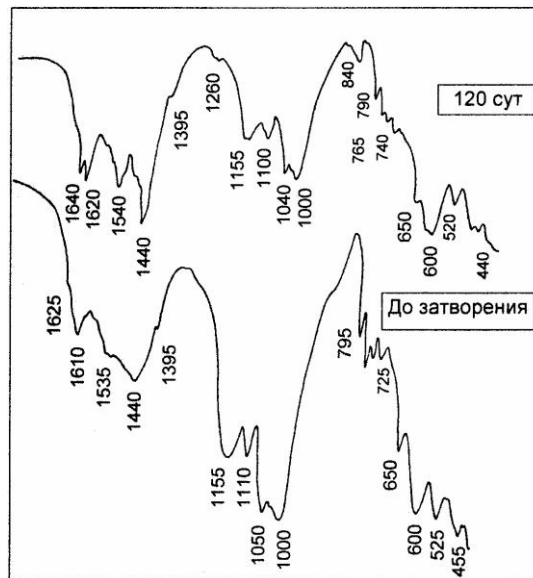


Рис. 5. ИК-спектры магнезиально-альбитового вяжущего

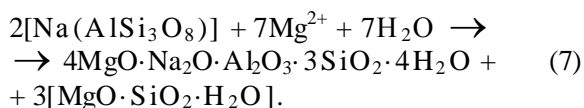


Усиление полос поглощения с волновыми числами 840, 1440, 1620 см<sup>-1</sup> связывают с наличием гидрооксихлоридов магния [8]. Наличие на ИК-спектре затвердевшего вяжущего полос поглощения с 1040, 1440, 1620, 1640 см<sup>-1</sup> косвенно свидетельствует об образовании алюмосиликатных гидратов. Совокупность полос с близкими по значению к указанным волновым числам характерна для большинства водосодержащих алюмосиликатов (анальцит, каолинит) [7].

Преобразования альбита и других силикатных минералов в составе смешанных магнезиальных вяжущих имеют принципиальные сходства с процессами метаморфизма в земной коре. Это согласуется с данными [9] о превращении биотита в вермикулит под влиянием раствора хлористого магния.

Под каталитическим влиянием раствора хлорида магния начинается гидролиз поверхностных участков зерен альбита. Первоначально в раствор переходят ионы натрия, способные активизировать гидратационные процессы вяжущего. При участии гидрооксидов кремния, алюминия и магния формируются гидросиликаты, а в последующем образуются гидроалюмосиликаты магния посредством замещения  $Si^{4+} \rightleftharpoons Al^{3+}$ . Щелочь, по-видимому, связывается гелеобразными гидроалюмосиликатами.

Вероятна следующая схема превращений альбита с образованием хлоритоподобной фазы и керолита:



При оптимальном содержании соли в составе затворителя хлорид магния не остается в свободном состоянии. Наряду с образованием гидрооксихлоридов магния, вероятно внедрение хлорид-ионов в структуру гидросиликатов. Приведенная схема преобразований предположительна, не исключает других процессов, в том числе формирования цеолитоподобных структур [9]. Состав гидратов и интенсивность преобразований зависят от концентрации ионов магния в жидкой фазе. Преимущественное формирование гидрооксихлорида магния и сравнительно невысокая скорость гидролиза обуславливают замедленное выделение гидратов на основе альбита. Степень гидратации альбита, по данным дифрактометрии, составляет 32–37% к 120 сут.

При гидратообразовании скаполита, структурно родственного альбиту, вероятно замещение ионов  $Cl^-$  и  $SO_4^{2-}$  на гидроксильную группу и проявление цеолитизации [10].

### Выводы

Выявлены особенности клинкерообразования с участием альбита. Устойчивость промежуточных силикатов обуславливает преимущественно высокотемпературное формирование белита. Щелочь альбита определяет характер силикатообразования в клинкере, способствует модификационному переходу  $\beta \rightarrow \alpha'_m - C_2S$ , снижает устойчивость  $C_3S$ .

Добавка сульфата кальция меняет характер взаимодействий в альбитсодержащей смеси и состав промежуточных фаз, снижает температуру формирования  $\beta - C_2S$ , несклонного к полиморфизму, уменьшает основность алюминатов кальция и замедляет синтез  $C_3S$  вследствие образования  $Na_2SO_4$ .

Особенности формирования фаз с участием  $NaS_6$  свидетельствуют о предпочтительности использования альбитсодержащего сырья для синтеза белитовых клинкеров.

Выявлена активность альбита в гидратообразовании магнезиальных композиций, инициированная гидролизом минерала в растворе хлорида магния.

Участие альбита в формировании слабозакристаллизованных гидратов магнезиальных композиций оксихлоридного твердения свидетельствует о возможности расширения сырьевой базы бесцементных вяжущих за счет полевошпатовых пород.

### Список литературы

1. Лугина И.Г., Коновалов В.М. Цементы из некондиционного сырья. Новочеркасск: Новочерк. гос. тех. ун-т, 1994. 233 с.
2. Классен В.К. Обжиг цементного клинкера. Красноярск: Стройиздат. Красноярск. отд., 1994. 323 с.
3. Осокин А.П., Кривобородов Ю.Р., Потапова Е.Н. Модифицированный портландцемент. М.: Стройиздат, 1993. 328 с.
4. Куатбаев К.К. Силикатные бетоны из побочных продуктов промышленности. М.: Стройиздат, 1981. 248 с.
5. Педро Ж. Экспериментальные исследования геохимического выветривания кристаллических пород: пер. с фр. М.: Недра, 1971. 123 с.
6. Сватовская Л.Б., Сычев М.М. Активированное твердение цементов. Л.: Стройиздат, 1983. 160 с.
7. Болдырев А.И. Инфракрасные спектры минералов. М.: Недра, 1976. 199 с.
8. Опыт получения магнезиального тампонажного цемента / Верещака И.Г., Кондращенко Е.В., Серяков А.С. и др. // Цемент. 1984, № 10. С. 10–11.
9. Эйтель В. Физическая химия силикатов: пер. с англ. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1962. 1055 с.
10. Годовиков А.А. Минералогия. М.: Недра, 1983. 647 с.

### List of literature

1. Lugina I.G., Kononov V.M. Cements from non-standard raw materials. Novocherkassk: Novocherkassk. State Techn University, 1994. 223 p.
2. Klassen V.K. Cement clinker burning. Krasnoyarsk: Stroizdat, Krasnoyarsk, branch, 1994. 323 p.
3. Osokin A.P., Krivoborodov Yu.R., Potapova E.N. Modified Portland cement. M.: Stroizdat, 1981. 328 p.
4. Kuatbaev K.K. Waste Industry silicate concretes. M.: Stroizdat, 1981. 248 p.
5. Pedro G. Geochemical weathering research of crystalline rocks.
6. Svatovskaya L.B., Sychev M.M. Activated Cement Hardening. L. Stroizdat, 1983. 160 p.
7. Boldyrev A.I. Infrared mineral specters. M.: Nedra, 1976. 199 p.
8. Some experience in magnesite tamponing cement production / Vereschaka I.G., Kondraschenko E.V., Seryakov A.S. // Cement. 1984, № 10. P. 10–11.
9. Eitel W. The Physical chemistry of the silicates. M.: Izdat. Inostran. Lit. 1962. 1055 p.
10. Godovikov A.A. Mineralogy. M.: Nedra, 1983. 647 p.



## ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И РЫНОК ПРОДУКЦИИ

УДК 658.155:502.131

Белых В.Т., Маринина А.Г.

### ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ РЕАЛИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СТРАТЕГИИ

В связи с переориентацией общественного производства на экологический тип развития изменились и условия функционирования промышленных предприятий, что повлекло возникновение потребности в поиске новых подходов и методов управления деятельностью предприятия, где ключевым процессом является разработка стратегии его развития.

Характерной чертой существовавших ранее типов стратегий являлось отсутствие в них долгосрочного видения экологического развития, экологических целей, обоснованных направлений экологической деятельности. Формирование экологической стратегии призвано устранить данные недостатки и создать экономическую заинтересованность и экологическую ответственность промышленного предприятия.

Необходимость стратегического подхода при осуществлении природоохранной деятельности определилась в конце 60-х годов прошлого столетия в связи с осознанием угрозы экологического кризиса. В 70-е годы в качестве стратегического направления природоохранной деятельности было выбрано создание и совершенствование методов и средств защиты окружающей среды в конце производственного цикла. Однако возможности этого направления достаточно быстро были исчерпаны.

Следующим стратегическим направлением, определяемым Международной конференцией по проблемам охраны окружающей среды в Женеве в 1978 году, явилось техническое перевооружение производства на основе ресурсосберегающих и малоотходных технологий, а также применение высокозатратных способов защиты окружающей среды.

Экологические проблемы приобрели новое звучание в мире после состоявшейся в Рио-де-Жанейро в июне 1992 г. конференции ООН по окружающей среде и развитию. На конференции был принят исторический документ – «Повестка дня на XXI век» – программа всемирного сотрудничества, направленная на гармоничное достижение двух целей – высокого качества окружающей среды и здоровой экономики для всех народов мира.

К настоящему времени принята серия международных стандартов ISO 14000 (система менеджмента окружающей среды на предприятиях), которые разрабатывались с учетом международных стандартов систем менеджмента качества продукции (ISO 9000).

Данные стандарты устанавливают непосредственную связь между вопросами управления производственными процессами предприятий, рациональным использованием природных ресурсов и воздействием на окружающую среду.

Сейчас процветание предприятия неразрывно связано с благополучием потребителя. Потребители в процессе удовлетворения своих потребностей все более стали стремиться не только к изобилию и доступности необходимых товаров и услуг, но и к сохранению и улучшению среды обитания. При приобретении товара покупателя интересует ряд вопросов, связанных с воздействием этого товара (в том числе и косвенным) на окружающую среду. Таким образом, экологические качества производства и продукции становятся фактором привлечения потребителя, который трансформируется в спрос и, как следствие, в повышение конкурентоспособности.

Конкурентоспособность предприятия есть способность предприятия отвечать требованиям конкурентного рынка, запросам покупателей, противостоять производителям, поставляющим на те же рынки аналогичные товары. Конкурентные преимущества предприятия определяются как наличие одного или нескольких свойств деятельности, которые превосходят соответствующие свойства конкурентов и являются значимыми для рынка.

Факторы, определяющие конкурентные преимущества предприятия, находятся в постоянной динамике, благоприятное или неблагоприятное направление которой зависит от процессов, инициируемых самим предприятием (внутренние факторы), или процессов, происходящих на рынке (внешние факторы). В последнее время значительно возросла роль экологического менеджмента как важного инструмента экологического сопровождения инвестиций в хозяйственную и иную деятельность.

Охрана окружающей среды фактически стала составной частью инвестиционных проектов. Экологическая оценка, экологическая экспертиза, экологический аудит, экологическое страхование входят в основную процедуру экологического сопровождения планируемой хозяйственной и иной деятельности в России. При этом важно соблюдать требования Всемирного банка, Европейского банка реконструкции и

развития, других инвестирующих международных и российских организаций к экологическому сопровождению инвестиционных проектов.

Ужесточение экологических требований со стороны внешних заинтересованных сторон, ориентация на усиление конкурентных преимуществ требуют от руководства предприятий разработки и реализации стратегии, учитывающей требования потребителя, адаптации текущей деятельности к стратегическим экологическим целям, развития системы интегрированного менеджмента с учетом влияния экологических факторов.

Экологическая стратегия предприятия представляет собой генеральную программу действий, выявляющую приоритеты проблем и ресурсы для достижения целей в области экологии.

Этапы формирования экологической стратегии предприятия следующие:

1. Формирование стратегических целей – реальных, достижимых, экологически значимых.
2. Анализ факторов внешней среды для выбора путей адаптации к ней.
3. Анализ внутренней среды, оценка ресурсов и определение конкурентных преимуществ. Выявление сильных и слабых сторон предприятия.
4. Формирование стратегических альтернатив развития предприятия, их оценка и выбор оптимальной стратегической альтернативы.
5. Реализация выбранной стратегии путем разработки планов и бюджетов.
6. Оценка результативности стратегии (с возможным пересмотром стратегии или внесением изменений).

Для стратегического экологического управления характерны следующие направления деятельности предприятия:

1. Развитие экологического маркетинга.
2. Равноправный диалог с общественностью и потребителями.
3. Внешний экологический аудит систем экологического менеджмента.
4. Внедрение программ экологической сертификации товаров и услуг.
5. Предоставление полного объема экологически значимой информации.
6. Создание систем «жизненных циклов» продукции и ее утилизации.
7. Учет экологически значимых требований при реализации инвестиционных проектов.
8. Подготовка корпоративной отчетности о функционировании системы экологического менеджмента и осуществления природоохранной деятельности предприятия.

ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» является одним из крупнейших в России и мире производителем стали и прокатной продукции черных металлов.

Развивая производство, ОАО «ММК» связывает обеспечение собственной конкурентоспособности с разработкой и реализацией на предприятии стратегии в области охраны окружающей среды.

Основной принцип экологической деятельности

ОАО «ММК» сформулирован в Экологической политике предприятия: «Планируя долгосрочное и устойчивое развитие компании, руководство и персонал ОАО «ММК» считают сокращение вредных воздействий на окружающую среду одной из своих стратегических целей и осуществляют производственную деятельность с пониманием ответственности за воздействие на окружающую среду».

Стратегия охраны окружающей среды ОАО «ММК» базируется на выполнении требований природоохранного законодательства и международного стандарта ISO 14001. В соответствии с этим определены цели ОАО «ММК» в области охраны окружающей среды:

Сокращение массы выбросов и сбросов загрязняющих веществ в атмосферу и водные объекты.

Утилизация промышленных отходов и рекультивация нарушенных земель.

Рациональное использование природных и энергетических ресурсов.

Стратегия Группы ОАО «ММК» в области охраны окружающей среды направлена на решение следующих задач:

- защита атмосферного воздуха с целью снижения уровня его загрязнения и обеспечения качества воздуха в пределах нормативных значений;
- защита водных объектов с целью снижения воздействия на них от производственной деятельности;
- деятельность по обращению с промышленными отходами направлена на снижение удельного образования отходов, максимального использования отходов в качестве вторичных материальных ресурсов и товарной продукции, на обезвреживание опасных промышленных отходов;
- вывод из эксплуатации мест размещения отходов (шламохранилищ и гидроотвалов) и рекультивация ранее нарушенных земель.

Для осуществления задач стратегии в области охраны окружающей среды разработана Экологическая программа ОАО «ММК» на 2008–2015 годы. Обеспечение Экологической программы достаточным финансированием для выполнения входящих в нее мероприятий в полном объеме и в установленные сроки, а также своевременная корректировка Экологической программы в зависимости от изменений путей стратегического развития Группы ОАО «ММК» или изменения требований законодательства позволяют выполнить задачи стратегии в области охраны окружающей среды.

Сильными экологическими сторонами ОАО «ММК» являются:

- выполнение требований природоохранного законодательства Российской Федерации и международного стандарта ISO 14001;
- постоянное улучшение системы экологического менеджмента и применение её в обществах Группы ОАО «ММК»;
- внедрение наилучших существующих технологий, позволяющих осуществлять производственный процесс с минимально возможным воздействием на окружающую среду;
- разработка и выполнение мероприятий, направ-

## Управленческие задачи при реализации экологической стратегии на предприятии

Стратегический уровень	Тактический уровень	Оперативный уровень
Разработка экологической политики	Контроль исполнения экологической политики	Информирование сотрудников, потребителей и др. об экологической политике
Разработка экологической стратегии. Контроль исполнения экологической стратегии	Разработка плана реализации экологической стратегии. Контроль исполнения плана реализации экологической стратегии	Осуществление мероприятий плана реализации экологической стратегии
Разработка целей предприятия в области экологии	Разработка задач для реализации целей предприятия в области экологии и план по их достижению	Осуществление реализации плана по достижению задач в области экологии
Осуществление лоббирования интересов предприятия в области экологии	Отслеживание изменений в законодательстве, касающихся экологии, учет таких изменений в деятельности предприятия	Консультирование работников предприятия по вопросам изменений в законодательстве, касающихся экологии. Мониторинг исполнения законодательства
Разработка системы показателей экологической эффективности. Анализ и выявление тенденций динамики значений показателей экологической эффективности по всей организации	Информационно-методическое обеспечение системы показателей экологической эффективности. Анализ и выявление тенденций динамики значений показателей экологической эффективности на тактическом уровне. Использование SWOT-анализа предприятия с экологическим наполнением	Сбор и обработка первичных данных о значениях показателей экологической эффективности. Анализ и выявление тенденций динамики значений показателей экологической эффективности на оперативном уровне

ленных на предотвращение загрязнения окружающей среды, при возникновении аварий и аварийных ситуаций;

- обучение, повышение компетентности и распределение ответственности персонала в области обеспечения экологической безопасности;
- доведение требований системы экологического менеджмента ОАО «ММК» до поставщиков продукции и исполнителей услуг, контроль выполнения предъявленных требований;
- открытость и доступность информации о результатах природоохранной деятельности и функционирования системы экологического менеджмента для всех заинтересованных сторон.

Для успешной реализации экологической стратегии на промышленном предприятии необходимо определить основные управленческие задачи менеджеров в зависимости от уровня управления (см. таблицу).

Таким образом, формирование и реализация экологической стратегии, а также ее своевременная корректировка в соответствии с динамикой экологических требований потребителей позволит промышленному предприятию обеспечить долгосрочные конкурентные преимущества на рынке.

рентные преимущества на рынке.

## Список литературы

1. Маркова В. Д., Кузнецова С. А. Стратегический менеджмент: курс лекций. М.: ИНФРА-М, 2007. 288 с.
2. Экологический менеджмент: учеб. пособие / Н. Пахомова, А. Эндрес, К. Рихтер. СПб.: Питер, 2003. 536 с.
3. Томпсон А.А., Стрикленд А.Дж. Стратегический менеджмент: концепции и ситуации для анализа: пер. с англ. М.: Изд. дом «Вильямс», 2008. 928 с.
4. Фатхутдинов Р.А. Конкурентоспособность: экономика, стратегия, управление. М.: ИНФРА-М, 2000. 312 с.

## List of literature

1. Markova V.D. Kuznetsova S.A. Strategic management: The course of lectures. M: INFRA-M, 2007. 288 p.
2. Pahomova N.V. Ecological management: studies. The tutorial / N. Pahomova, A. Endres, K. Rihter. SPb.: Piter, 2003. 536 p.
3. Thompson Arthur A., Strickland A. J. Strategic Management: Concepts and Cases. Translation from engl. M: Publishing house «Williams», 2008. 928 p.
4. Fathutdinov R.A. Competitiveness: economics, strategy, management M.: INFRA-M, 2000. 312 p.

## СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ, ПОДГОТОВКА И ОБУЧЕНИЕ СПЕЦИАЛИСТОВ

УДК 378.1

Оринина Л.В.

### К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СТРАТЕГИЙ В РАМКАХ ПОЛИКУЛЬТУРНОГО ВОСПИТАТЕЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА УНИВЕРСИТЕТА

В настоящее время возникла необходимость формирования гражданской культуры студентов. Формирование правового, гражданского общества немислимо без воспитания гражданственности у всех членов общества и прежде всего у молодёжи. Решение проблемы формирования гражданской культуры студентов университета определяется ещё и тем, что известная их часть утратила социальные ориентиры, особенно гражданские и патриотические [1, 2]. Исследователи данной проблемы отмечают отсутствие преемственности в передаче материальных и духовных ценностей от старшего поколения к младшему (Е.В. Бондаревская, И.М. Дуранов, Т.В. Кружилина, О.В. Лешер, Н.А. Савина и др.). Данный факт находит своё выражение в том, что ценности старшего поколения оказались невостребованными и непригодными для современного общества [2]. Однако на сегодняшний день предприняты попытки решения данной проблемы на государственном уровне через систему государственных программ и нормативно-правовых актов по реализации гражданского воспитания молодого поколения. Примером может служить государственная программа «Патриотическое воспитание граждан Российской Федерации на 2001–2005 годы», утверждённая Постановлением Правительства РФ № 122 от 16 февраля 2001 года.

С другой стороны, определив необходимость и актуальность проблемы формирования гражданской культуры студентов, мы сталкиваемся с вопросом о том, какие средства современного образовательного процесса университета можно при этом использовать [3]. Думается, что классическая система университетского образования в некотором смысле изжила себя, поэтому эффективность процесса формирования гражданской культуры студентов определяется на сегодняшний день использованием инновационных образовательных направлений, одним из которых, на наш взгляд, является поликультурное образование [1]. Центральным понятием поликультурного образования является категория «поликультурное образовательное пространство», под которым мы понимаем образовательное пространство, организованное в рамках диалога культур и направленное на формирование у студентов университета таких качеств, как гражданская компетенция, культурологическая компетенция, гражданско-патриотическая культура, гражданское самосознание, национальная толерантность,

поликультурное мышление.

На сегодняшний день достаточно актуальным является вопрос об использовании в рамках школьного и университетского образования различных российских и зарубежных поликультурных образовательных систем, существенно влияющих на образовательный процесс средней общеобразовательной и высшей школы, обеспечивающих их преемственность и повышающих эффективность формирования гражданской культуры учащихся.

Для анализа феномена поликультурного образовательного пространства университета в целях повышения гражданской культуры студентов мы предлагаем проанализировать его составляющие – «культура», «компетенция», «гражданственность», «гражданская культура», а также рассмотреть методику организации данного пространства в рамках творческой мастерской.

Слово «культура» связано в повседневной речи с представлениями о дворцах и парках культуры, о культуре обслуживания и культуре быта, о политической и физической культуре, о музеях, театрах, библиотеках. Часто мы употребляем слово «культура» как синоним «культурности», то есть что-либо, находящееся на высоком уровне («культурный человек», «культурное общество», «культурно вести себя»). Эти и многие другие примеры словоупотребления «культуры» можно разделить на «оценочные» («культурный человек»), «описательные», когда просто перечисляются (заведомо не полно) отдельные элементы и проявления культуры, и «научно-теоретические». В этом последнем случае культура выступает как одно из фундаментальных научных понятий, которое играет в социо-гуманитарном познании такую же важную роль, как, скажем, понятие массы в физике или наследственности – в биологии. Культура (от лат. *cultura* – возделывание, воспитание, образование, развитие, почитание) – исторически определённый уровень развития общества и человека, выраженный в типах и формах организации жизни и деятельности людей, а также в создаваемых ими материальных и духовных ценностях. Понятие «культура» употребляется для характеристики материального и духовного уровня развития определённых исторических эпох, общественно-экономических формаций, конкретных обществ, народностей и наций (например, античная, социалистическая, майя), а также специфиче-



ских сфер деятельности или жизни (культура труда, художественная, быта). В более узком смысле термин относят только к сфере духовной жизни людей. Первоначально понятие подразумевало целенаправленное воздействие человека на природу (обработка земли и пр.), а также воспитание и обучение самого человека. Воспитание включало не только развитие умения следовать существующим нормам и обычаям, но и поощрение желания им следовать, формировало уверенность в способности удовлетворить все потребности и запросы человека. Такая двуспектность свойственна пониманию культуры в любом обществе. Хотя само слово вошло в обиход европейской социальной мысли лишь со 2-й половины 18 в., более или менее сходные представления могут быть обнаружены на ранних этапах европейской истории и за её пределами (Эллины видели в «пайдеей», т. е. «воспитанности», главное своё отличие от «некультурных» варваров. В позднеримскую эпоху слово «культура» стало ассоциироваться скорее с признаками личного совершенства, в первую очередь религиозного. В эпоху Возрождения под совершенством культуры начали понимать соответствие гуманистическому идеалу человека, а в дальнейшем – идеалу просветителей. Для философии характерно отождествление культуры с формами духовного и политического саморазвития общества и человека, как оно проявляется в движении науки, искусства, морали, религии и государственных форм правления. Научный подход не просто описывает многообразные проявления культуры, но стремится выявить их сущность, общую основу и тем самым объяснить их. Существует множество научных подходов и определений культуры (ценностный, нормативный, символический, информационно-семиотический и др.). Рассмотрим один из них. Под культурой мы будем понимать все то, что создано целенаправленным размышлением и специфичными для людей способами (методами) деятельности. Эти средства позволяют создать как материальные, так и нематериальные, духовные ценности. В этом смысле к культуре принадлежит каждое, даже простейшее, созданное человеком орудие, примитивнейший инвентарь, любая мысль, идея, зародившаяся в уме человека. С помощью культуры люди удовлетворяют свои потребности (материальные и духовные) и строят отношения между собой. С понятием культуры тесно связано понятие «культурология», которое, на наш взгляд, включается в первое в рамках интердисциплинарного подхода, который также является одной из ключевых категорий понятия «поликультурное образовательное пространство». Общим вектором процессов вычленения культурологии из исторических и гносеологических наук стало движение к междисциплинарности: общим контекстом явилось переосмысление рациональности как фундаментальной категории западного мышления. Другим центральным понятием поликультурного образовательного пространства является понятие «компетенция» [4]. Введение компетенций в нормативную и практическую составляющую образования позволяет решать проблему, типичную для российской школы, когда ученики могут хорошо овладеть набором теоретических знаний, но испытывают значительные трудности в деятельности, требующей использования этих знаний для реше-

ния конкретных жизненных задач или проблемных ситуаций. Компетентностный подход предполагает не усвоение учеником отдельных друг от друга знаний и умений, а овладение ими в комплексе. В связи с этим меняется, точнее, по иному определяется система методов обучения. В основе отбора и конструирования методов обучения лежит структура соответствующих компетенций и функции, которые они выполняют в образовании. Опираясь на проведённые Хуторским А. В. исследования, а также технологию формирования компетенций следует отличать синонимически используемые часто понятия «компетенция» и «компетентность». Компетенция – отчужденное, заранее заданное социальное требование (норма) к образовательной подготовке ученика, необходимой для его эффективной продуктивной деятельности в определенной сфере. Компетентность – владение, обладание учеником соответствующей компетенцией, включающее его личностное отношение к ней и предмету деятельности. Компетентность – уже состоявшееся качество личности (совокупность качеств) ученика и минимальный опыт деятельности в заданной сфере.

Наконец, обратимся к рассмотрению понятий «гражданственность» и «гражданская культура». Гражданственность – совокупность субъективных качеств личности, основанных на толерантности, социокультурном менталитете, диалоге культур и проявляющихся в осознанной законопослушности, патриотической преданности, служении на благо Родине и её интересов [2]. Гражданская культура – интегративное качество личности, включающее в себя когнитивный, ценностный, поведенческий, рефлексивный компоненты и проявляющееся в способности любить Родину, защищать интересы своего Отечества, беречь родную природу, хранить и передавать из поколения в поколение культурные обычаи, традиции своего народа и вырабатывать толерантное отношение к другим народам в рамках поликультурного мышления и культурологической компетенции.

В заключение приведём небольшой фрагмент творческой мастерской – методики, повышающей уровень сформированности гражданской культуры студентов вуза в рамках поликультурного образовательного пространства университета. Предложенная нами система методов, приёмов и упражнений содержит приёмы на формирование гражданской компетенции, на выработку осознанной гражданской позиции, обретение идентификации себя с партнёром, развитие коммуникативной пантомимы. Структура методики представлена несколькими блоками, каждый из которых имеет свою специфику и определённую направленность на процесс повышения уровня сформированности гражданской культуры студентов университета.

*Метод «Телефон доверия»* направлен на снятие эмоциональной напряжённости начального этапа, выявление межличностных взаимосвязей между членами группы, стремление расположить человека к себе.

Часть присутствующих становятся дежурными на этом телефоне. Остальные «звонят» по этому телефону и делятся невзгодами, проблемами и т. д. Предметом беседований по «телефону доверия» могут быть ненадёжность в дружбе, равнодушие со стороны близких, неверность в личных отношениях, нравст-

венные пропуски и др. (можно использовать известные сюжеты из кинофильмов, художественной литературы и т. д.). Дежурные пытаются распутать клубок проблем. Некоторые из этих проблем становятся предметами общего обсуждения с тем, чтобы найти удовлетворяющий всех (или большинство) выход из сложившейся ситуации.

*Метод биографической рефлексии* проявляется в осмыслении студентами собственной биографии с целью выяснения своей культурной идентичности. Позволяет идентифицировать личные культурные стандарты студентов и выявить систему их ценностей и гражданских ориентаций.

*Метод биографического анализа* заключается в анализе биографии знаменитых людей, представителей собственной и иных культур, помогает выявить культурные и гражданские ценности и идеалы, особенности отношений с людьми, в частности представителями иных культур.

*Метод проектирования идеала* основывается на анализе представлений студентов об идеальной личности, соответствует представлениям студентов и предполагает описание качеств другой личности.

*Метод самопроектирования* основывается на методе биографической рефлексии и методе проектирования идеала. Помогает разработать студентам собственную траекторию развития, спроектировать развитие ценностных и гражданских ориентаций.

*Метод интерактивного моделирования* заключается в сознательном воспроизведении возникающих индивидуальных и групповых ситуаций межкультурной коммуникации. Создаёт естественные общекультурные условия знакомств и совместной деятельности.

*Метод ролевых игр* характеризуется исполнением участниками ролей, которые воссоздаются часто повторяющимися ситуациями («игровое переживание» в ситуации «Как будто»).

*Метод самооценки* выявляет собственный стиль поведения студентов в условиях межкультурного взаимодействия.

*Метод симуляции* заключается в искусственном создании ситуаций межкультурного общения и прогнозировании возможных вариантов и результатов данного общения, исходя из различных точек зрения участников.

*Метод «межкультурный тренинг»:* эмпирическое обучение межкультурному взаимодействию путём проигрывания ситуаций с представителями других культур и национальностей.

*«Я гражданин, ты гражданин»*

Участники разбиваются на пары. Каждому члену пары предлагается (желательно в разных интонационных вариациях) продекларировать фразу «Я гражданин», приведя при этом веские аргументы. Например: «Я гражданин своей страны, потому что я не только соблюдаю все права и обязанности перед ней, но и потому, что у меня есть чёткая, сформировавшаяся гражданская позиция, потому что я не только патриот России, но я никогда не причиню зла челове-

ку другой нации и религии». Побеждает тот, чья система аргументов окажется наиболее веской. Допускается, что подобных фраз между членами группы может быть произнесено больше двух или трёх. Жюри выбирается общим голосованием.

*«Другого цвета кожи»*

Всем участникам раздаются таблички с названием той или иной нации (например, башкир, татарин, украинец, таджик и т. д.). Допускается, если это будут не только союзные республики или ближнее зарубежье. Все представители этих наций участвуют в международном конгрессе. Ведущий оглашает какую-либо общенациональную проблему, а каждый из участников конгресса в соответствии со своим национальным стилем ведения переговоров выдвигают свою точку зрения относительно поставленной проблемы. При этом самое главное условие данного упражнения – это то, что переговоры проходят в духе мира и национальной толерантности. Побеждает тот, чья точка зрения оказалась наиболее убедительной. Кроме того, можно учредить поощрительную премию за самую оригинальную национальную презентацию.

*«Заседание Госдумы»*

Все члены группы являются участниками заседания Государственной Думы, разрабатывающей на этот раз новое Постановление о государственной программе гражданско-патриотического воспитания. Программа должна не только отличаться от предыдущей, но и отвечать изменившимся условиям и потребностям общества, его социальному заказу. Таким образом, каждый участник выдвигает по возможности конструктивные позиции по данному вопросу. В финале вновь учреждённая «Программа» публично озвучивается.

#### Список литературы

1. Бараненко А.С. Теория и практика формирования обществу-ведческой культуры учащихся старших классов среднего образовательного учреждения в учебном процессе: автореф. дис. ... д-ра пед. наук. Челябинск, 1999. 39 с.
2. Гарданов Р.Т. Педагогические условия интернационалистического воспитания школьников. Уфа: БОПОР, 1994. 94 с.
3. Антропова Л.И., Лешер О.В., Филатов В.В. Гуманитарная подготовка инженеров // Вестник МГТУ. 2009. № 2. С. 69–71.
4. Дуранов И. М., Дуранов М. Е., Жернов В. И. Педагогические проблемы управления воспитанием и развитием личности. Магнитогорск; Челябинск: МГПИ, 1996. С. 67–89.

#### List of literature

1. Baranenko A.S. Theory and practice of social culture formation of the senior class pupils in educational process at the secondary schools: abstract dis. D-r of Ped. Sc. Chelyabinsk, 1999. 39 p.
2. Gardanov R.T. Pedagogical conditions of bringing up the internationalism at school. Ufa: BOPOR, 1994. 94 p.
3. Antropova L.I., Lesher O.V., Filatov V.V. Humanitarian education of engineers // VESTNIK MGTU. 2009. № 2. P. 69–71.
4. Duranov I.M., Duranov M.E., Zhemov V.I. Pedagogical problems of control and development in bringing up a personality. Magnitogorsk; Chelyabinsk: MSPI, 1996. P. 67–89.

## РЕФЕРАТЫ

### РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.026.3/5

**Жариков С.Н. О взаимосвязи между энергоёмкостью бурения и взрывания горных пород.**

В статье изложен подход к определению взрываемости массива горных пород, через взаимосвязь между энергоёмкостью бурения и взрывания.

Ил. 1. Табл. 1. Библиогр. 10 назв.

*Ключевые слова:* взрываемость горных пород, энергоёмкость бурения, энергоёмкость взрывания, расход взрывчатого вещества.

УДК 622.271

**Бобров С.А., Кисляков В.Е. Эколого-технологическая связь между способом вскрытия, системой разработки и схемой комплексной механизации.**

Рассмотрена взаимосвязь вскрывающих выработок, систем разработки и схем комплексной механизации, отображающая размеры нарушений и восстановлений земель при открытой разработке.

Библиогр. 2 назв.

*Ключевые слова:* горные работы, ландшафтно-восстановительные работы, эколого-технологические параметры, природоохранные мероприятия.

УДК 622.4

**Дударь Е.С. Особенности формирования и расчет термовлажностного режима выработок калийных рудников.**

Предложен способ решения задачи тепломассообмена при пленочной конденсации пара из паровоздушной смеси, движущейся в цилиндрической полости. Изложена методика определения полей температур, концентраций, давлений, количества и зоны выпадающей влаги в шахтной сети калийного рудника.

Ил. 2. Библиогр. 17 назв.

*Ключевые слова:* тепломассообмен, конденсация пара, вентиляционная сеть, калийный рудник.

### МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

УДК 669.14.018.258

**Колокольцев В. М., Иванова И. В. Литейная сталь для штампов горячего деформирования.**

Повышение стойкости литой штамповой оснастки является актуальной задачей. Основное направление повышения стойкости – применение и разработка новых высокопрочных и теплостойких марок стали. Экспериментальные работы заключались в исследовании влияния легирования на структуру и свойства литой инструментальной стали, оптимизации химического состава с целью получения требуемых свойств штампа в рабочих условиях.

Был определен рациональный химический состав (%: C=0,4; Mn=0,50; Si=0,5; Ni=0,50; Cr=6,0; W=4,3; V=1,0; Mo=1,0), обеспечивающий высокие механические свойства. В работе рассмотрена зависимость изменения структуры (свойств) сплавов от типа используемой формы.

Ил. 1. Табл. 2. Библиогр. 2 назв.

*Ключевые слова:* литейная штамповая сталь, стойкость, твердость, износостойкость, структура, легирование, критические точки.

УДК 622.341

**Панычев А.А., Никонова А.П. Параметры агломерации михайловских и лебединских концентратов.**

На основе экспериментальных данных решены уравнения и созданы математические модели для агломерации шихты, состоящей в основном из смеси михайловских и лебединских концентратов, которые имеют практическую ценность при агломерации этого сырья и могут служить образцом для создания аналогичных моделей при спекании другого состава шихты.

Табл. 3. Библиогр. 2 назв.

*Ключевые слова:* процесс агломерации, железорудные концентраты, математические модели.

УДК 621.365.2: 621.187.2.046

**Ячиков И.М., Логунова О.С. Управление объемными электромагнитными силами в ванне дуговой печи постоянного тока.**

Предложена новая схема управления токами, протекающими через два подовых электрода дуговой печи постоянного тока, позволяющая усилить подавление электровихревых течений в районе подины при постоянной мощности дуги. Показана потенциальная возможность управления интенсивностью и направлением течения расплава в ванне дуговой печи постоянного тока за счет изменения сдвига фаз между пульсирующими токами.

Ил. 5. Библиогр. 6 назв.

*Ключевые слова:* дуговая печь постоянного тока, пятно дуги, подовые электроды, электровихревые течения, напряженность магнитного поля, объемные электромагнитные силы.

УДК 621.746.6

**Дюльдина Э.В., Селиванов В.Н., Лозовский Е.П. Формирование шлака в промежуточном ковше МНЛЗ.**

Экспериментально исследовано изменение химического состава шлака в промежуточном ковше при разливке нескольких плавок углеродистой и низколегированной стали. Составлена математическая модель этого процесса. Установлено, что в процессе разливки состав шлака существенно меняется, причем ведущую роль в этом играет всплывание неметаллических включений из разливаемой стали.

Ил. 5. Табл. 2.

*Ключевые слова:* непрерывная разливка стали, промежуточный ковш, шлак, химический состав, математическое моделирование, неметаллические включения.

## ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.777

**Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Соколов Р.Е., Беляев С.В., Лопатина Е.С., Барков Н.А., Ворошилов Д.С. Разработка устройств и технологии для получения проволоки из труднодеформируемых алюминевых сплавов с применением методов совмещенной обработки.**

Изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса получения сварочной проволоки из сплава АК12 с применением методов совмещенной обработки. Показана возможность пластической деформации силуминов с помощью новых устройств совмещенной прокатки-прессования из литой заготовки, полученной с помощью электромагнитного кристаллизатора. Выявлены и описаны закономерности изменения энергосиловых характеристик совмещенной обработки от геометрических и температурно-скоростных параметров процесса.

Ил. 5. Табл. 2.

*Ключевые слова:* совмещенная прокатка-прессование, аналитическая модель, температурные условия, энергосиловые параметры, регрессионные зависимости, новые технические решения.

УДК 621.778.1.073

**Славин В.С. Выбор параметров для описания очага деформации, образованного произвольным количеством роликов.**

В статье рассматриваются многороликовые калибры для деформации металла волочением. С целью получения единого подхода к описанию калибра, образованного произвольным количеством роликов в качестве основного параметра, предложено использовать условные диаметры роликов. При помощи предложенного параметра получены аналитические зависимости, в общем виде описывающие геометрию калибра, образованного как четным, так и нечетным количеством роликов.

Ил. 1. Библиогр. 2 назв.

*Ключевые слова:* волочение, роликовая волока, многороликовый калибр, ролик, очаг деформации, условный диаметр, линия калибра.

УДК 621.774

**Козлов А.В., Шеркунов В.Г., Хилькевич Я.М. Механизмы снижения усилий гибки труб при их раскатывании с большими натягами.**

Рассмотрены основные явления, приводящие к снижению изгибающих усилий при гибке труб с раскатыванием. Выполнена их экспериментальная проверка.

Ил. 11. Библиогр. 4 назв.

*Ключевые слова:* гибка труб, раскатывание, изгибающие усилия, экспериментальные исследования.



## НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

УДК 538.95

**Каменева А.Л. Изучение влияния технологических условий формирования пленок на основе ZrN методом магнетронного распыления на их структуру и свойства.**

Изучено влияние соотношения реакционного и инертного газов в газовой смеси на механические свойства, фазовый состав, морфологические особенности и структурные характеристики пленок на основе ZrN, формируемых методом магнетронного распыления. Установлено, что анизотропия скоростей формирования пленок ZrN магнетронным распылением по различным направлениям велика и, как следствие, увеличение неоднородностей условий формирования для различных участков пленок приводит к образованию различных поверхностных структур: дендритной и фрактальной – при содержании азота в газовой смеси 30 и 35%, трубчатой на границе раздела различных структурных состояний пленки, волокнистой (столбчатой) и поликристаллической структуры – при 40%. Наименее неравновесные условия формирования пленки характерны для 40% концентрации азота в газовой смеси, при которой выявлена наименьшая анизотропия скоростей формирования по различным направлениям.

Ил. 10. Табл. 2. Библиогр. 4 назв.

*Ключевые слова:* механические свойства, фазовый состав, морфологические особенности, структурные характеристики пленок ZrN, магнетронное распыление.

## СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

УДК 629.11.01

**Калмыков Ю.В., Михайловский И.А., Сальников В.В., Пестерев Д.А. Анализ существующих способов формирования соединения и основные требования к качеству при сборке шаровых шарниров передней подвески автомобилей.**

Рассмотрены технические требования к шаровым шарнирам передней подвески легковых автомобилей. Анализируются основные типы шаровых шарниров и методы их сборки. Приведены достоинства рассматриваемых технологий сборки.

Ил. 5. Табл. 1. Библиогр. 11 назв.

*Ключевые слова:* шаровой шарнир, сборка, соединение, конструкция.

УДК 621.88:658.56

**Рубин Г.Ш., Вахитова Ф.Т., Лебедев В.Н., Гусева Е.Н., Шишов А.А. Методологический подход к управлению качеством метизной продукции, основанный на нечетких множествах.**

В настоящее время качество продукции является важнейшим показателем конкурентоспособности предприятия. Поэтому разработка нового метода управления качеством метизных изделий является весьма актуальной. Новый подход к управлению качеством продукции основан на нечетких множествах. Он разработан авторами статьи с учетом специфики металлургического производства. Это является его неоспоримым преимуществом. Применение разработанного методологического подхода демонстрируется на примере самонарезающих винтов.

Ил. 1. Табл. 2. Библиогр. 3 назв.

*Ключевые слова:* методологический подход, управление качеством, нечеткое множество, сквозной технологический процесс, самонарезающий винт, математическое ожидание, среднеквадратичное отклонение.

УДК 621.771

**Кинзин Д.И., Левандовский С.А., Наливайко А.В., Завьялов К.А. Совершенствование методики определения показателей формоизменения металла для управления качеством профилей при прокатке в калибрах.**

В статье рассматривается вопрос управления качеством профилей на основе совершенствования методики определения показателей формоизменения металла. Суть методики заключается в использовании принципа наименьшего сопротивления, который сформулирован в виде уравнения связи смещенных объемов металла и напряжений в очаге деформации.

Ил. 2. Табл. 1. Библиогр. 3 назв.

*Ключевые слова:* качество сортового проката, формоизменение при прокатке, принцип наименьшего сопротивления, оптимизация контура калибра, неравномерность деформации, эффективность калибра.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 519.711.3:371.214.27

**Федосеев С.А., Вожаков А.В., Гитман М.Б. Модель оптимального планирования производства на тактическом уровне с нечеткими ограничениями и критериями.**

Рассматривается модель составления оптимального плана-графика производства с нечеткими ограничениями и критериями. Модель применена в автоматизированной системе тактического планирования на предприятии ООО «Завод СДМ», г.Пермь.

Ил. 7. Табл. 4. Библиогр. 5 назв.

*Ключевые слова:* оптимальный план производства, нечеткие ограничения и критерии, автоматизированная система.

УДК 621.002.68 + 621.9

**Сергеев С.В. Принципы математического моделирования процессов проникания и движения вращающихся твердых тел в сплошных средах.**

В статье приведены принципы моделирования и способы управления поведением вращающихся и вибрирующих многолезвийных инструментов при движении их в твердых сплошных средах.

Библиогр. 3 назв.

*Ключевые слова:* изделия из металлов, математическое моделирование, процессы формообразования поверхностей, вибрация многолезвийных инструментов.

## НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

УДК 669.18.046.518:621.764.27.М

**Пиксаев Е.В., Платов С.И. Скольжение заготовки в роликовой проводке МНЛЗ.**

Проведено исследование изменения геометрических и скоростных параметров непрерывно-литой заготовки в процессе ее разлива. Установлено, что в результате усадки и распрямления оболочки изменяется скорость ее движения в роликовой проводке. Теоретическим путем получено выражение для определения скорости движения заготовки. Из полученных результатов сделан вывод о наличии скольжения заготовки относительно роликовой проводки.

Ил. 3. Табл. 1. Библиогр. 3 назв.

*Ключевые слова:* непрерывная разливка, скольжение, заготовка, роликовая проводка, усадка, сляб.

## ЭНЕРГЕТИКА МЕТАЛЛУРГИИ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

УДК 621.771.06-114-52

**Селиванов И.А., Петухова О.И., Бодров Е.Э., Суздальев И.В. Системы регулирования непрерывных станов с многовалковыми калибрами.**

В статье проведен анализ различных систем регулирования. Приведены результаты исследований влияния входных размеров раската, коэффициента трения и предела текучести на выходные размеры при использовании той или иной системы регулирования.

Ил. 6. Библиогр. 6 назв.

*Ключевые слова:* системы регулирования, непрерывные прокатные станы, многовалковые калибры.

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 666.942: 666.852

**Мирюк О.А. Синтез вяжущих веществ с участием альбита.**

Исследованы процессы кликерообразования и гидратации вяжущих с участием альбита.

Ил. 5. Табл. 1. Библиогр. 10 назв.

*Ключевые слова:* альбит, клинкер, алит, гидратация, магнезиальные вяжущие, твердение.

## ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И РЫНОК ПРОДУКЦИИ

УДК 658.155:502.131

**Белых В.Т., Маринина А.Г. Обеспечение конкурентоспособности промышленного предприятия на основе реализации экологической стратегии.**

В статье рассматриваются вопросы формирования и реализации экологической стратегии промышленного предприятия в целях обеспечения его долгосрочных конкурентных преимуществ на рынке.

Предложены рекомендации по организации процесса реализации экологической стратегии на предприятии.

Табл. 1. Библиогр. 4 назв.

*Ключевые слова:* конкурентоспособность предприятия, экологическая стратегия.

## СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ, ПОДГОТОВКА И ОБУЧЕНИЕ СПЕЦИАЛИСТОВ

УДК 378.1

**Оринина Л.В. К вопросу о выборе образовательных стратегий в рамках поликультурного воспитательного пространства университета.**

Для изучения феномена поликультурного образовательного пространства университета в целях повышения гражданской культуры студентов в статье предлагается проанализировать его составляющие – «культура», «компетенция», «гражданственность», «гражданская культура», а также методика организации данного пространства в рамках творческой мастерской.

Библиогр. 4 назв.

*Ключевые слова:* гражданское общество, гражданская культура, поликультурное образование, поликультурное образовательное пространство, культура, компетенция, гражданственность, биографическая рефлексия, интерактивное моделирование, межкультурный тренинг.

## REPORTS

### MINERALS MINING

UDC 622.026.3/.5

**Zharikov S.N. About the interrelation between drilling and blasting power-intensity of rock mass.**

The article deals with the problem of approach to determination of rock mass explosibility through the interrelation between drilling and blasting power-intensity.

Fig. 1. Table 1. Bibliogr. 10 names.

*Keywords:* rock explosibility, drilling power-intensity, blasting power-intensity, blasting agents' expenditure.

UDC 622.271

**Bobrov S.A., Kislyakov V.T. Ecological and technological connection between the method of opening, the system of development and the complex mechanization scheme.**

The interconnection between the opening works, the development systems and the complex mechanization schemes reflecting the dimensions of land reclamation during the open-cast mining has been under consideration.

Bibliogr. 2 titles.

*Keywords:* mining (excavation), landscape reclamation works, ecological operation factors, environmental actions.

UDC 622.4

**Dudar E.S. Creation Peculiarities and Prediction of the Thermo-Humid Conditions in Potash Mine Workings.**

A method for the problem solution of heat and mass transfer during the film steam condensation out of steam-airmixtures in a cylindrical cavity has been proposed. Solution procedure to determine temperature, concentration, pressure fields, condensation mass and zone in potash mine network has been presented.

Fig. 2. Bibliogr. 17 names.

*Keywords:* heat and mass transfer, vapour condensation, ventilation network, potash mine.

### FERROUS, NON-FERROUS AND RARE METALS METALLURGY

UDK 669.14.018.258

**Kolokoltsev V. M., Ivanova I. V. Cast steel dies for hot deformation.**

Increasing resistance of cast steel die tooling is a pressing problem. The main direction of increasing resistance is application and development of new high-strength and heat resistant steels. The experimental work was to study the influence of alloying on the structure and properties of cast tool steel, the optimization of chemical composition to obtain the required properties of the stamp in working conditions.

Rational chemical composition of the alloy (%: C=0,4; Mn=0,50; Si=0,50; Ni=0,50; Cr=6,0; W,4,3; V=1,0; Mo=1,0) which provides high mechanical properties has been defined. Dependence of changes in the structure (properties) of type of form was consider in this work.

Fig. 1. Table 2. Bibliogr. 2 names.

*Keywords:* casting die steel, resistance, hardness, wear resistance, structure, allowing, critical point.

UDC 622.341

**Panychev A.A., Nikonova A.P. Agglomeration Parameters of the Concentrates from Mikhailovskaya and Lebedinskaya Ore Mines.**

On the basis of experimental data the equations are solved and mathematical models are created for charge agglomeration composed of concentrates mixture from Mikhailovskaya and Lebedinskaya ore mines. These concentrates are of practical value for the raw material agglomeration and may be a pattern for creating analogous models in caking charge of some other composition.

Table 3. Bibliogr. 2 names.

*Keywords:* agglomeration, mathematical model.

UDC 621.365.2: 621.187.2.046

**Jachicov I.M., Logunova O.S. Volumetric electromagnetic forces control in DC arc furnace bath.**

A new control circuit of currents flowing via two bottom electrodes in DC arc furnace, amplifying the electrovortical flows suppression in the bath bottom with a constant arc power is offered. Potentialities of intensity and direction



control of melt flow in the bath of DC arc furnace by means of the phase shift changing between the pulsating currents are demonstrated.

Fig. 5. Bibliogr. 6 names.

*Keywords:* DC arc furnace, stain of an arc, bottom electrodes, electrovortical flow patterns, tension of magnetic field, volumetric electromagnetic forces.

UDC 621.746.6

**Djuldina E.V., Selivanov V.N., Lozovsky E.P. Slag formation in a tundish of a continuous casting machine.**

Change of slag analysis in a tundish has been studied in a series of experiments carried out at the stage of carbon and low alloyed steels casting. Mathematical model of the process has been developed. It has been found that slag analysis changed considerably during casting and it was floatation of nonmetallic inclusions of the cast steel that played the main role in the process.

Fig. 5. Table 2.

*Keywords:* continuous casting of steel, a tundish, slag, slag analysis, mathematical modeling, nonmetallic inclusions.

## METAL FORMING

UDC 621.777

**Sidelnikov S.B., Dovzhenko N.N., Sokolov R.E., Belyaev S.V., Lopatina E.S., Barkov N.A., Voroshilov D.S. Development of devices and technology for producing of wire from hardly-deformed aluminium alloys with application of complex treatment methods.**

The results of theoretical and experimental researches of the process of welded wire production from alloy AK12 with complex treatment methods application have been stated. The possibility of silumins plastic deformation by means of new devices for complex rolling-extruding from the cast billet produced by electromagnetic crystallizer has been shown. The alteration regularities of complex treatment power-force characteristics due to geometrical and thermal-speed parameters of the process have been revealed and described.

Fig. 5. Table 2.

*Keywords:* aluminium alloys, complex treatment, silumins plastic deformation, power-force characteristics.

UDK 621.778.1.073

**Slavin V.S. Choice of Descriptive Parameters for Deformation Region Produced by Arbitrary Number of Rolls.**

This paper describes multiroll passes for metal deformation by drawing. In order to get a unified approach for describing the pass formed by the arbitrary number of rolls, it is recommended to take a conditional roll diameter as the basic parameter. With the help of the proposed parameter, the analytic dependences have been derived which, when used in general, form a pass geometry made of both even and odd numbers of rolls.

Fig. 1. Bibliogr. 2 names.

*Keywords:* drawing, drawing die, multiroll pass, roll, deformation region, conditional diameter, pass line.

UDC 621.774

**Kozlov A.V., Sherkunov V.G., Khilkevich Y.M. Mechanisms that decrease bending forces during pipe bending when they are rolled with large drawing forces.**

This article considers basic factors that decrease bending forces during pipe bending with flaring. That was proved by operation. Their experimental check was carried out.

Fig. 11. Bibliogr. 4 names.

*Keywords:* pipe bending, rolling, bending force, pilot research.

## NANOMATERIALS AND NANOTECHNOLOGIES

UDC 538.95

**Kameneva A.L. Influence study of technological conditions of films formation based on ZrN by magnetron sputtering on their structure and properties.**

The influence of reactionary and inert gas ratio in gas mixture on stress-strain properties, phase composition, morphological features and structural characteristics of ZrN based films formed by magnetron sputtering has been investigated. It has been established that development rate anisotropy of ZrN based films formed by magnetron sputtering at various directions is high and as a result increase of heterogeneity forming conditions for various film parts leads to formation of various surface structures: dendritic and fractal – if content of nitrogen in gas mixture is 30 and 35 %, tubular structure on interface of various film structural state, fiber (columnar) and polycrystalline structures – if 40 %. For

40% nitrogen concentration in gas mixture are typical the least non-equilibrium conditions and the least development rate anisotropy in various direction.

Fig. 10. Table 2. Bibliogr. 4 names.

*Keywords:* stress-strain properties, phase composition, morphological features, structural characteristics, ZrN based films, magnetron sputtering.

## STANDARDIZATION, CERTIFICATION AND QUALITY MANAGEMENT

UDC 629.11.01

**Kalmykov Yu.V., Mikhailovsky I.A., Salnikov V.V., Pesterev D.A. Analysis of ways of joints arrangement and basic requirements to the quality of ball joints of vehicle front suspension during the assembly process.**

Technical requirements to ball joints of automotive front suspension are represented in the article. The authors analyze the main types of ball joints and their assembly methods. Advantages of the observed assembly techniques are presented.

Fig. 5. Table 1. Bibliography: 11 titles.

*Keywords:* ball joint, assembly, connection, design.

UDC 621.88:658.56

**Rubin G.Sh., Vakhitova F.T., Lebedev V.N., Guseva E.N., Shishov A.A. The methodological approach to the hardware quality control based on the fuzzy sets.**

At present, the product quality is the most important indicator of the enterprise competitive ability. That is why the new method elaboration of the hardware quality control is actual. The new approach to product quality control is based on the fuzzy sets. This method is worked out by the authors in consideration of the metallurgical industry specific features. It is incontestable advantage of the new approach. The employment of the new method is demonstrated on an example of the self-tapping screws.

Fig. 1. Table 2. Bibliogr. 3 names.

*Keywords:* methodological approach, quality control, fuzzy set, through technological process, management problem, self-tapping screw, mathematical expectation, root-mean-square deviation.

UDK 621.771

**Kinzin D.I., Levandovsky S.A., Nalivaikin A.V., Zav'yalov K.A. Perfection of the method of determination metal deformation indexes for shape quality control at the section rolling.**

Control of section quality on the basis of improving methods of determination metal deformation indexes is reviewed in the article. The methods core is in using least resistance principle, which is formulated in the form of equation of connection of displaced metal volume and resistance in deformation zone.

Fig. 2. Table 2. Bibliogr. 5 names.

*Keywords:* section bar quality, deformation at rolling, least resistance principle, optimization of roll pass contour, inequality of deformation, efficiency of roll pass.

## METALLURGICAL PROCESSES MODELING

UDC 519.711.3:371.214.27

**Fedoseev S.A., Vozhakov A.V., Gitman M.B. The production optimum planning model at the tactical level with illegible limitations and criteria.**

The optimum scheduling production drawing up model with illegible limitations and criteria is being considered. The model has been applied in the tactical planning automated system at the LLC "Road building machines plant", Perm.

Fig. 7. Tables 4. Bibliogr. 5 titles.

*Keywords:* optimum production plan, illegible limitations and criteria, automated system.

UDC 621.002.68 + 621.9

**Sergeev S.V. Mathematical modeling principles of penetration processes and movements of rotating solid bodies in continuous environments.**

The article gives modeling principles and management methods of rotating and vibrating multiple-point tools behaviour during their movement in solid continuous environments.

Bibliogr. 3 names.

*Keywords:* metal products, mathematical modeling, surface forming processes, vibration of multiple-point tools.

## RELIABILITY AND WORKING LIFE OF METALLURGICAL EQUIPMENT

UDC 669.18.046.518:621.764.27.M

**Piksaev E.V., Platov S.I. The sliding of the ingot in roller posting CCM.**

Research of the geometric and speed parameters changes of the continuous ingot during casting has been carried out. It was defined that ingot speed in the roller guides varies because of shrinkage and unbending. The formula for ingot speed definition was obtained theoretically. From received results a conclusion has been made that the sliding of the ingot in roller guides takes place during casting.

Fig. 3. Table 1. Bibliogr. 3names.

*Keywords:* continuous casting, sliding, ingot, roller posting, shrinkage, slab.

## POWER ENGINEERING IN METALLURGY, ENERGY SAVING AND ELECTRICAL COMPLEXES

UDC 621.771.06-114-52

**Selivanov I.A., Petukhova O.I., Bodrov E.E., Suzdalev I.V. Control systems of multi-rolled calibrated continuous mills.**

The article concerns the analysis of different control systems. The investigation results of cogged ingot input sizes influence as well as friction factor and yield strength upon the output sizes by using this or that control system are given in the article.

Fig. 6. Bibliogr. 6 names.

*Keywords:* systems of regulating, continuous rolling mills, multi-rolled calibers.

## CONSTRUCTION MATERIALS AND CONSTRUCTION TECHNOLOGIES

UDC 666.942: 666.852

**Mirjuck O.A. The synthesis of binding materials with albit participation.**

The work investigates some processes of clinker formation as well as those of hydration of binding materials with albit participation.

Fig. 5. Table 1. Bibliogr. 9 names.

*Keywords:* albit, clinker, alit, hydration, magnesite bindings, hardening.

## ECONOMICS, MANAGEMENT AND MARKET

UDC 658.155:502.131

**Belyh V.T., Marinina A.G. Security competitiveness of industrial works (enterprise) based on realization of ecological strategy.**

Questions of formation and realization of ecological strategy of the industrial enterprise for the purpose of achievement its long-term competitive advantages in the market have been examined in the article.

Recommendations on the organization of realization process of ecological strategy at the enterprise have been proposed.

Table 1. Bibliogr. 4 names.

*Keywords:* enterprise competitiveness, ecological strategy.

## DEVELOPMENT STRATEGY AND SPECIALIST TRAINING

UDC 378.1

**Orinina L.V. Concerning the problem of educational strategies at the university polycultural areal.**

In order to improve the culture of students it is important to analyse the phenomenon of polycultural educational areal of the university. The article presents the analysis of its general components: culture, competency, patriotism and civil culture. There are also university areal organization methods given in the frames of creative laboratory.

Bibliogr. 3 names.

*Keywords:* society, civil culture, polycultural education, polycultural educational areal, culture competency, patriotism, biographical reflexivity, interactive modeling, intercultural development.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Барков Николай Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры обработки металлов давлением Института цветных металлов и материаловедения ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск.

**Белых Валентина Тимофеевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519) 205931. E-mail: mgtu@magtu.ru.

**Беляев Сергей Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры обработки металлов давлением Института цветных металлов и материаловедения ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск.

**Бобров Сергей Анатольевич** – аспирант кафедры открытых горных работ Института цветных металлов и золота ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Тел. (3912) 344394. E-mail: rosau@gold.sfu-kras.ru.

**Бодров Евгений Эдуардович** – ассистент кафедры «Электроника и микроэлектроника» ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: электроприводы прокатных станов с многовалковыми калибрами. Тел. 8(3519) 298586.

**Вахитова Фарид Талгатовна** – аспирант кафедры машиностроительных и металлургических технологий ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8-9068534548; 8-(3519)298512. E-mail: noire\_blanche@mai.ru

**Вожаков Артем Викторович** – аспирант кафедры «Математическое моделирование систем и процессов» ГОУ ВПО «Пермский государственный технический университет». Тел. 2391297. E-mail: vozhaikov@mz.perm.ru.

**Ворошилов Денис Сергеевич** – аспирант кафедры обработки металлов давлением Института цветных металлов и материаловедения ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск.

**Гитман Михаил Борисович** – доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры «Математическое моделирование систем и процессов» ГОУ ВПО «Пермский государственный технический университет». Тел. 2391297. E-mail: mgitman@netzero.net.

**Гусева Елена Николаевна** – ведущий инженер крепежной лаборатории ЦЗЛ ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод ММК-МЕТИЗ». Тел. 8(3519) 257152. E-mail: ENGuseva@mmk-metiz.ru.

**Довженко Николай Николаевич** – доктор технических наук, проректор по инновационной деятельности и развитию материальной базы научных исследований ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», профессор кафедры обработки металлов давлением, г. Красноярск. Тел. 8(391) 22448904.

**Дударь Елена Сергеевна** – доцент ГОУ ВПО «Пермский государственный технический университет». Направление исследований: рудничная аэрология, горная теплофизика. Тел.: (342) 2241603, 8-9091018125. E-mail: elendudar@yandex.ru.

**Дюльдина Эльвира Владимировна** – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры химической технологии и физической химии ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519) 298514. E-mail: dev@magtu.ru.

**Жариков Сергей Николаевич** – младший научный сотрудник Института горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург. Направление исследований: буримость и взрываемость горных пород. Тел.: 8(343) 3506025, 8(343) 3550951; 8-9222088483. E-mail: 333vista@mail.ru.

**Завьялов Константин Анатольевич** – аспирант кафедры обработки металлов давлением ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова». Тел. 8-9193382769. E-mail: sprent@yandex.ru.

**Иванова Ирина Владимировна** – аспирант кафедры электрометаллургии и литейного производства ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8-9068982980. E mail: iva.88-174@mail.ru.



**Калмыков Юрий Вячеславович** – технический директор, заместитель генерального директора ЗАО НПО «БелМаг». Тел. 8(3519) 483251. E-mail: kalmykov@belmag.ru.

**Каменева Анна Львовна** – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник Научного центра порошкового материаловедения ГОУ ВПО «Пермский государственный технический университет». Направление исследований: разработка, получение и исследование упрочняющих и защитных наноструктурированных пленок. Тел. 8-9504667693. E-mail: kameneva@pstu.ru.

**Кинзин Дмитрий Иванович** – кандидат технических наук, доцент кафедры обработки металлов давлением ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова». Тел. 8(3519) 298525. E-mail: kinzin@mail.ru.

**Кисляков Виктор Евгеньевич** – доктор технических наук, профессор кафедры открытых горных работ Института цветных металлов и золота ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Тел. (3912) 344394. E-mail: rosau@gold.sfu-kras.ru.

**Козлов Александр Васильевич** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология машиностроения, станки и инструмент» ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет», г. Челябинск. Направление исследований: формообразование криволинейных элементов из тонкостенных труб. Тел. 8(3513) 634378. 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) 224446. E-mail: kvm@magtu.ru.

**Лебедев Владимир Николаевич** – директор ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод ММК-МЕТИЗ». Тел. 8(3519) 257152. E-mail: ENGuseva@mmk-metiz.ru.

**Левандовский Сергей Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры обработки металлов давлением ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова». Тел.: 8(3519) 298525, 8(3519) 298506. E-mail: levandovskiy@mail.ru.

**Логунова Оксана Сергеевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники и прикладной математики ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519) 298563, 8(3519) 412030. E-mail: logunova66@mail.ru.

**Лозовский Евгений Павлович** – инженер ЦЛК ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Тел. 8(3519) 256914. E-mail: alekseev\_v@mmk.ru.

**Лопатина Екатерина Сергеевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры МиТОМ Института цветных металлов и материаловедения ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск.

**Маринина Анна Германовна** – менеджер Управления маркетинга ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Тел. 8(3519) 240241. E-mail: marinina@mmk.ru

**Мирык Ольга Александровна** – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой производства строительных материалов Рудненского индустриального института, Республика Казахстан. Тел. 8(71431) 50703. E-mail: mirola\_1107@mail.ru.

**Михайловский Игорь Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии, сертификации и сервиса автомобилей ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова». Тел. 8(3519) 298431.

**Наливайко Александр Владимирович** – первый заместитель Генерального директора ОАО «АХК ВНИИМЕТМАШ». Тел. 8(495) 7304530. E-mail: mail@vniimetmash.ru.

**Никонова Алёна Петровна** – студентка Высшей школы управления Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

**Оринина Лариса Владимировна** – кандидат педагогических наук, старший преподаватель кафедры педагогики и психологии ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519) 298464. E-mail: orinina\_larisa@mail.ru.

**Панычев Анатолий Алексеевич** – кандидат технических наук, главный специалист по природным ресурсам ОАО "Уральская Сталь", г. Новотроицк. Тел.: (3537) 662809. E-mail: a.panychev@uralsteel.com.

**Пестерев Денис Андреевич** – инженер технического отдела ЗАО НПО «БелМаг». Тел. 8(3519) 483251. E-mail: pesterev@belmag.ru.

**Петухова Ольга Игоревна** – доцент кафедры «Электротехника и электротехнические системы» ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: электроприводы непрерывных прокатных станов. Тел. 8(3519) 298416.

**Пиксаев Егор Валерьевич** – аспирант кафедры машин и технологий обработки давлением ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8-(3519) 311330, 8-9049753148. E-mail: piksaev@info-com.ru.

**Платов Сергей Иосифович** – доктор технических наук, первый проректор, профессор, заведующий кафедрой машин и технологий обработки давлением ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519) 298403. E-mail: psipsi@mail.ru.

**Рубин Геннадий Шмульевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры математического анализа ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет». Тел. 8-9028689892. E-mail: rubin@mgn.ru.

**Сальников Виталий Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии, сертификации и сервиса автомобилей ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519) 298431.

**Селиванов Валентин Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры металлургии черных металлов ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. 8(3519) 298449. E-mail: mcm@magtu.ru.

**Селиванов Игорь Андреевич** – доктор технических наук, заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой «Электроника и микроэлектроника» ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: автоматизированные электромеханические системы металлургического производства. Тел. 8(3519) 227279.

**Сергеев Сергей Васильевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения, станки и инструмент» Златоустовского филиала ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет». Тел. +7-9043015139. E-mail: sergeev-sv@list.ru.

**Сидельников Сергей Борисович** – доктор технических наук, профессор кафедры обработки металлов давлением Института цветных металлов и материаловедения ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Тел. 8(391) 2133550. E-mail: sbs270359@yandex.ru.

**Славин Вячеслав Семенович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой общетехнических дисциплин ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет». Направление исследований: развитие деформирующего оборудования и совершенствование технологических процессов волочения в роликовых калибрах. Тел.: 8(3519) 347430, 8-9124027007. E-mail: slavin\_v\_s@list.ru.

**Соколов Руслан Евгеньевич** – ассистент кафедры обработки металлов давлением Института цветных металлов и материаловедения ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск.

**Суздаев Игорь Вячеславович** – аспирант кафедры «Электроника и микроэлектроника» ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: электроприводы прокатных станов с многовалковыми калибрами. Тел. 8(3519) 298586.

**Федосеев Сергей Анатольевич** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Математическое моделирование систем и процессов» ГОУ ВПО «Пермский государственный технический университет». Тел. 2391297. E-mail: fsa@gelicon.biz.

**Хилькевич Яков Моисеевич** – кандидат технических наук, доцент ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет», г. Челябинск. Направление исследований: математическое моделирование новых технологических процессов механической обработки. Тел. 109-724-83-83-023. E-mail: khilkevich@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. Направление исследований: обработка давлением сплошных и композиционных материалов. Тел. 8(351) 2679224. E-mail: mitomd@susu.ru.

**Шишов Андрей Андреевич** – аспирант кафедры машиностроительных и металлургических технологий ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел.: 8(3519) 298512; 8-9068716827.

**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) 298563, 8(3519) 341013. E-mail: Jachikov@mail.ru.

## THE INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Barkov Nikolai Aleksandrovich** – the Candidate of Technical Science, the Associate Professor. The Department of Metal Forming of the Non-ferrous metal and the Material Study Institute. Federal State Educational Institution Higher Professional Education “The Siberian Federal University “, Krasnoyarsk.

**Belyayev Sergey Vladimirovich** – candidate of engineering, associate professor of the Metal Forming Department at the Institute of Nonferrous Metals and Materials Science FSEI HPE “Siberian Federal University”, Krasnoyarsk.

**Belyh Valentina Timofeevna** – Cand. of Sc., assistant prof. at the Department of “Industrial Ecology and security” at the State Education Institution of Higher Professional Education “Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov”. Tel. 8(3519) 205931. E-mail: mgtu@magtu.ru.

**Bobrov Segei Anatolyevitch** – post-graduate st. of the open-cast mining Department of the Institute of non-ferrous metals and gold. Federal State Educational Institution Higher Professional Education "Siberian federal university, city of Krasnoyarsk. Tel. (3912) 344394. E-mail: rosau@gold.sfu-kras.ru

**Bodrov Evgeniy Eduardovich** – teaching assistant of the Electronics and Microelectronics department, State Educational Institution of Higher Professional Education “Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov”. Sphere of scientific research: electric drives of multiroll gauge mills. Tel.: 8(3519) 298586.

**Djuldina Elvira Vladimirovna** – Cand. of Sc., Associate Prof., Prof. of the department of applied chemistry and physical chemistry of State Educational Establishment Higher Professional Education “Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov”. Tel.: 8(3519) 298514. E-mail: dev@magtu.ru.

**Dovzhenko Nikolay Nikolayevich** – doctor of engineering, pro-rector of innovation activity and development of resource base of scientific research FSEI HVE “Siberian Federal University”, professor of the Metal Forming Department, Krasnoyarsk. Tel.: 8(391) 22448904.

**Dudar Elena Sergeevna** – Associate Prof. of the State Educational Institution of Higher Professional Education Perm State Technical University. Sphere of Research: Mining Aerodynamics and Physics. Tel.: (342) 2241603, 8-9091018125. E-mail: elendudar@yandex.ru.

**Fedoseev Sergei Anatoljevich** – Cand. Tech. Sci., associate professor of the systems and processes mathematical modeling department. State Educational Institution Higher Professional Education Perm State Technical University. Tel.: 2391297. E-mail: fsa@gelicon.biz.

**Gitman Michael Borisovich** – Doctor Tech. Sci., professor of the systems and processes mathematical modeling department. State Educational Institution Higher Professional Education Perm State Technical University. Tel.: 2391297. E-mail: mgitman@netzero.net.

**Guseva Elena Nikolaevna** – the leading engineer of the fixing laboratory of Central Works Laboratory, JSC «MMK-METIZ», Magnitogorsk. Tel.: 8(3519) 257152. E-mail: ENGuseva@mmk-metiz.ru.

**Ivanova Irina Vladimirovna** – postgraduate student, the department of «Electrometallurgy and foundry» of State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Tel.: 8-906-898-29-80. E-mail: iva.88-174@mail.ru.

**Kalmykov Yury Vyacheslavovich** – the Technical Director, Deputy Director General of the CGSC Scientific Production Association “BelMag”. Tel.: 8(3519) 483251. E-mail: kalmykov@belmag.ru.

**Kameneva Anna Lvovna** – Cand. of Sc., Associate professor, Senior researcher of State educational institution of the higher professional education Perm state technical university. Trend research: receiving and investigation of strengthening and protective nanostructured films. Tel.: 8-9504667693. E-mail: kameneva@pstu.ru.

**Khilkevich Yakov Moiseevich** – the candidate of engineering science, senior lecturer of South Ural State University. The area of scientific interest – mathematic modeling of new technologies in mechanical processing. Tel.: 109-724-83-83-023. E-mail: khilkevich@mail.ru.

**Kinzin Dmitry Ivanovich** – cand. of technical sciences, assist. prof. of “Metal forming” department at the State Educational Institution of Higher Professional Education “Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov”. Tel.: 8(3519) 298525. E-mail: kinzin@mail.ru.

**Kislyakov Victor Evgenyevitch** – Dr. of Sc., prof. of the open-cast mining Department of the Institute of non-ferrous metals and gold Federal State Educational Institution Higher Professional Education "Siberian federal university", city of Krasnoyarsk. Tel. (3912) 344394. E-mail: rosau@gold.sfu-kras.ru

**Kolokoltsev Valeriy Mikhailovich** – Dr. of Sc., prof., rector of State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Tel.: 8(3519) 224446. E-mail: kvm@magtu.ru.

**Kozlov Aleksandr Vasiljevich** – the candidate of engineering science, senior lecturer, the head of "Machine-building technology, machines and instruments" department of South Ural State University. The area of scientific interest – forming curved elements in tubes with thin walls. Tel.: 8(3513) 634378. E-mail: kozlov@zb-susu.ru.

**Lebedev Vladimir Nikolaevich** – the director of JSC «MMK-METIZ», Magnitogorsk. Tel.: 8(3519) 257152. E-mail: ENGuseva@mmk-metiz.ru.

**Levandovsky Sergey Anatol'evich** – cand. of technical sciences, assist. prof. of "Metal forming" department at the State Educational Institution of Higher Professional Education "Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov". Tel.: 8(3519) 298525, 8(3519) 298506. E-mail: levandovskiy@mail.ru.

**Logunova Oksana Sergeevna** – candidate of engineering, associate professor of "Computer engineering and applied mathematics" department of State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Tel.: 8(3519) 298563, 8(3519) 412030. E-mail: logunova66@mail.ru.

**Lopatina Yekaterina Sergeevna** – candidate of engineering, associate professor of the Department of Metal Science and Heat Treatment at the Institute of Nonferrous Metals and Materials Science FSEI HPE "Siberian Federal University", Krasnoyarsk.

**Lozovsky Evgeny Pavlovich** – an engineer of the Central Laboratory of JSC MMK. Tel.: 8(3519) 2569-4. E-mail: alekseev\_v@mmk.ru.

**Marinina Anna Germanovna** – a manager of marketing department at the OJSC "Magnitogorsk Iron and Steel Works". Tel.: 8(3519) 240241. E-mail: marinina@mmk.ru

**Mikhailovsky Igor Aleksandrovich** – Associate Professor of the department of technology, certification and car service of the State Educational Institution of Higher Education "Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov". Tel.: 8(3519) 298431.

**Mirjuck Olga Alexandrovna** – Dr. of Sc., professor, the head of the Chair of Building Materials of Rudnenskij Industrial Institute of the Kasakhstan Republic. Tel.: 8(71431) 50703. E-mail: mirola\_1107@mail.ru

**Nalivaikin Alexander Vladimirovich** – First deputy General Director of OJSC "AHK VNIIMETMASH». Tel.: 8(495) 7304530. E-mail: mail@vniimetmash.ru.

**Nikonova Alena Petrovna** – student of Higher School of Management at St. Petersburg State Polytechnical University.

**Orinina Larisa Vladimirovna** – Cand. of Ped. Sc., senior teacher of Pedagogics and Psychology Department, MGTU. Tel.: 8(3519) 298464. E-mail: orinina\_larisa@mail.ru.

**Panychev Anatoly Alekseevich** – Cand. Sc.Tech., Head Specialist in nature resources. OJSC "Ural Steel", Novotroitsk. Tel.: 8(3537) 662009. E-mail: a.panychev@uralsteel.com.

**Pesterev Denis Andreevich** – an engineer of the engineering department of the CGSC Scientific Production Association "BelMag". Tel.: 8(3519) 483251. E-mail: pesterev@belmag.ru.

**Petukhova Olga Igorevna** – associate prof. of the Electrical Engineering and Electrical Systems department, State Educational Institution of Higher Professional Education "Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov". Sphere of scientific research: electric drives of continuous rolling mills. Tel.: 8(3519) 298416.

**Piksaev Egor Valeryevich** – postgraduate student of the department of « Machine and metal forming technology» at State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov ». Tel.: 8-90497531-48.

**Platov Sergey Iosifovich** – Doc. of engineering, prof., head of the department of «Machine and metal forming technology» at State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov ». Tel.: 8(3519) 298403. E-mail: psipsi@mail.ru.



**Rubin Gennadiy Shmul'evich** – Cand. of Sc., the associate professor of the mathematical analysis department, State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State University». Tel.: 8-9028689892. E-mail: rubin@mgn.ru.

**Salnikov Vitaly Vladimirovich** – Associate Professor of the department of technology, certification and car service of the State Educational Institution of Higher Education “Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov”. Tel.: 8(3519) 298431.

**Selivanov Igor Andreevich** – Dr. of Technical Sciences, Prof., Honored Scientist of the Russian Federation, the Head of the Electronics and Microelectronics department, State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov”. Tel.: 8(3519) 227279.

**Selivanov Valentin Nikolaeovich** – Candidate of Science, Associate Professor of the department of ferrous metallurgy of State Educational Establishment Higher Professional Education “Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov”. Tel.: 8(3519) 298449. E-mail: mcm@magtu.ru.

**Sergeev Sergey Vasiljevich** – cand. of techn. sciences, associate professor of department “Engineering technology, machine tools and instrument” State Educational Institution of Higher Professional Education South Ural State University, branch in Zlatoust. Tel.: +7-90430151396. E-mail: sergeev-sv@list.ru.

**Sherkunov Viktor Georgievich** – the doctor of engineering science, professor, the head of “Machines and Technologies of Handling Materials by Pressure” department of South Ural State University. The area of scientific interest – handling of solid and composite materials by pressing. Tel.: 8(351) 2679224. E-mail: mitomd@susu.ru.

**Shishov Andrey Andreevich** – postgraduate st. of “The Machine-building and Metallurgical Technologies” department, State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov”. Tel.: 8-9068716827; 8(3519) 298512.

**Sidelnikov Sergey Borisovich** – doctor of engineering, professor of the Metal Forming Department at the Institute of Nonferrous Metals and Materials Science FSEI HPE “Siberian Federal University”, Krasnoyarsk. Tel.: 8(391) 2133550. Email: sbs270359@yandex.ru.

**Slavin Vyacheslav Semyonovich** – Cand. of Sc., assistant prof., Head of Technical Department of Magnitogorsk State University. Trend research: Development of deformation machinery and improvement of drawing processes in roll passes. Tel.: 8-(3519) 347430, 8-9124027007. E-mail: slavin\_v\_s@list.ru.

**Sokolov Ruslan Yevgenyevich** – teacher of the Metal Forming Department at the Institute of Nonferrous Metals and Materials Science FSEI HVE “Siberian Federal University”, Krasnoyarsk.

**Suzdalev Igor Vyacheslavovich** – post-graduate st. of the Electronics and Microelectronics department, State Educational Institution of Higher Professional Education “Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov”. Sphere of scientific research: electric drives of multiroll gauge mills. Tel.: 8(3519) 298586.

**Vakhitova Farida Talgatovna** – postgraduate st. of “The Machine-building and Metallurgical Technologies” department, State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov”. Tel.: 8-9068534548; 8(3519) 298512. E-mail: noire\_blanche@mai.ru.

**Voroshilov Denis Sergeevich** – postgraduate st. The Department of Metal Forming of the Non-ferrous metal and the Material Study Institute. Federal State Educational Institution Higher Professional Education “The Siberian Federal University”, Krasnoyarsk.

**Vozhakov Artem Victorovich** – post-graduate student of the systems and processes mathematical modeling department. State Educational Institution Higher Professional Education Perm State Technical University. Tel.: 2391297. E-mail: vozhakov@mz.perm.ru.

**Yachikov Igor Mikhailovich** – candidate of engineering, associate professor of “Computer engineering and applied mathematics” department of State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Tel.: 8(3519) 298563, 8(3519) 341013. E-mail: jachikov@mail.ru.

**Zav'yalov Konstantin Anatol'evich** – postgraduate student of “Metal forming” department at the State Educational Institution of Higher Professional Education “Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov”. Tel.: 8-9193382769. E-mail: sprent@yandex.ru.

**Zharikov Sergei Nickolaevich** – junior researcher of the Mining Institute Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, city of Ekaterinsburg. Trend research: rock drillability and explosibility. Tel.: (343) 3506025, 3550951, 8-9222088483. E-mail: 333vista@mail.ru.

## УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Мы приглашаем Вас к участию в нашем журнале в качестве авторов, рекламодателей и читателей. Журнал формируется по разделам, отражающим основные направления научной деятельности ученых МГТУ, в частности:

- РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.
- МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ.
- ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ.
- ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО
- ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ.
- МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ.
- СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ.
- МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.
- НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ.
- ЭНЕРГЕТИКА МЕТАЛЛУРГИИ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ.
- УПРАВЛЕНИЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ.
- СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ.
- ЭКОЛОГИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ.
- ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И РЫНОК ПРОДУКЦИИ.
- СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ, ПОДГОТОВКА И ОБУЧЕНИЕ СПЕЦИАЛИСТОВ.
- ИНФОРМАЦИЯ И ДР.

Раздел «Новые исследования» или «Краткие сообщения» предназначен для оперативной публикации работ преимущественно аспирантов. В журнал входят учебно-методический и библиографический разделы. Общее количество разделов и их объем может варьироваться от номера к номеру.

---

---

### ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ, ПРИНИМАЕМЫМ К ПУБЛИКАЦИИ

**I.** Рекомендуемый объем статьи – 6–8 стр.

К статье прилагаются:

- 1) акт экспертизы;
- 2) рецензия;
- 3) сведения об авторах (на английском и русском языках): фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание и должность, полное название учреждения, направление исследований, контактный телефон и E-mail каждого автора;
- 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**, V&W – для черно-белых иллюстраций, Grayscale – для полутонов, максимальный размер рисунка с подписью – 150×235 мм. В тексте статьи должны быть подрисовочные надписи в местах размещения рисунков. Например:

Рис. 4. Расчётная зависимость  $\gamma(t)=I_{nv}/I_{n0}$  от времени и удалённости КЗ от выводов асинхронного двигателя

---

---

**Внимание!** Публикация статей является бесплатной. Преимущество опубликования представляется авторам и учреждениям, оформившим подписку на журнал.

Статьи проходят обязательное научное рецензирование.

Редакция оставляет за собой право отклонять статьи, не отвечающие указанным требованиям.

По вопросам публикации статей обращаться: 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. Магнитогорский государственный технический университет, Редколлегия журнала «Вестник МГТУ» М. Чукину.

Телефоны: (3519) 29-85-26, 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»).