

ВЕСТНИК

Магнитогорского государственного
технического университета им. Г. И. Носова

№ 4 (20) декабрь 2007 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 кандидата наук по рекомендации экспертных советов 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 – генеральный директор ОАО НПО «ЦНИИТМАШ», д-р техн. наук;

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

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

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

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

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

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

Редакционная коллегия:

Главный редактор:

Г.С. Гун – проф., д-р техн. наук.

Заместитель:

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

Члены редколлегии:

В.А. Бигеев – проф., д-р техн. наук;

К.Н. Вдовин – проф., д-р техн. наук;

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

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

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

С.А. Песина – проф., д-р филол. наук;

С.И. Платов – проф., д-р техн. наук;

В.М. Саганик – 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», 2007

Подписку можно оформить по общему каталогу изданий органов научно-технической информации «Почта России», подписной индекс журнала 73849 – для предприятий, 73856 – для индивидуальных подписчиков, либо приобрести непосредственно в редакции.

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: mgtu@magtu.ru; nis@magtu.ru

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

Отпечатан на полиграфическом участке МГТУ.

Подписано к печати 14.12.2007.

Заказ 758. Тираж 500 экз. Цена свободная.



VESTNIK

Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov

№ 4 (20) December 2007

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”, 2007

One can subscribe for the journal in the general publication catalogue of scientific-technical information, the subscription index of the journal 73849 – for enterprises, 73856 – for private subscribers, 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: mgtu@magtu.ru; nis@magtu.ru

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

Signed for press 12.14.2007.

Order 758. Circulation – 500 items. Free price.



СОДЕРЖАНИЕ

Разработка месторождений полезных ископаемых и техногенных образований.....	5
<i>Рахимов З.Р., Барулин А.И.</i> Исследование влияния жесткости испытательного стенда на точность моделирования откосов	5
<i>Гавришев С.Е., Пыталев И.А.</i> Перспективные направления использования отвалов и выработанного карьерного пространства	10
<i>Угольников В.К., Симонов П.С.</i> Определение переводных коэффициентов при расчете эквивалентных зарядов дробления.....	14
<i>Криницын Р.В.</i> Мониторинг напряженного состояния массивов руд и пород в очистных блоках шахты «Магнитовая».....	18
Металлургия черных, цветных и редких металлов	22
<i>Брялин М.Ф., Колокольцев В.М., Гольцов А.С.</i> Повышение эксплуатационных свойств отливок из жароизносостойких хромомарганцевых чугунов	22
<i>Пиксаев В.А., Ячиков И.М.</i> Опыт применения энергетического критерия образования трещин при проектировании МНЛЗ	26
<i>Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Усачев М.В., Наливкин А.К., Михальченко Е.С.</i> Оптимизация управления температурным и энергетическим режимами в технологические периоды электродуговой плавки.....	30
<i>Сивагатуллин С.К., Майорова Т.В., Полинов А.А.</i> О влиянии изменения параметров состояния газа на величину его работы в доменной печи	34
<i>Великий А.Б., Казаков А.С., Филиппова В.П., Алексеев А.Г.</i> Влияние электромагнитного перемешивания на структуру и химическую неоднородность сортовой непрерывнолитой заготовки	37
<i>Сычков А.Б.</i> Неметаллические включения в высокоуглеродистой стали	40
<i>Чуманов В.И., Пятыгин Д.А., Чуманов И.В.</i> Упрочнение стали тугоплавкой дисперсной фазой*	49
<i>Чайкин В.А., Болдырев Д.А., Чайкина Н.В.</i> Особенности графитизирующего модифицирования высокопрочного чугуна смесевыми модификаторами в условиях ОАО «АВТОВАЗ»	53
Обработка металлов давлением	59
<i>Железков О.С., Михайлова У.В.</i> Особенности штамповки тарельчатых пружин	59
<i>Девятченко Л.Д.</i> Многомерный анализ соответствий организационных признаков и результативности труда в прокатном производстве	61
<i>Румянцев М.И., Шубин И.Г., Завалишин А.Н., Корнилов В.Л., Буданов А.П., Цепкин А.С., Пантелеева Н.А.</i> Оценивание качества тонких горячекатаных полос для определения возможности замещения холоднокатаной листовой стали общего назначения*	69
<i>Тулупов О.Н., Ручинская Н.А., Моллер А.Б., Лимарев А.С., Луценко А.Н.</i> Управление качеством сортового проката путем использования рациональных предупреждающих действий при настройке станов	73
Моделирование металлургических процессов.....	81
<i>Дубский Г.А., Вдовин К.Н., Нефедьев А.А., Дубская Т.Я.</i> Экспериментальная установка для исследования теплофизических свойств твердых тел методом периодических тепловых волн.....	81
Нанотехнологии и наноматериалы	89
<i>Чукин М.В., Валиев Р.З., Рааб Г.И., Копцева Н.В., Ефимова Ю.Ю.</i> Исследование эволюции структуры наносталей 20 и 45 при критических степенях пластической деформации*	89
Надежность и долговечность металлургического оборудования	94
<i>Дудоров Е.А., Жиркин Ю.В.</i> Модернизация подшипникового узла с целью продления его ресурса	94
<i>Кадошников В.И., Куликов С.В., Шестопалов Е.В., Куликова Е.В.</i> Моделирование надёжности агрегатов прокатного производства как сложных технических систем	96
Стандартизация и управление качеством в металлургии	99
<i>Чукин В.В., Артюхин В.И., Рубин Г.Ш., Вахитова Ф.Т., Гусева Е.Н.</i> Проблема повышения качества крепежных изделий.....	99
<i>Аленина М.Н., Кузнецова Е.Н., Шемшурова Н.Г.</i> Разработка системы менеджмента качества холдинговых компаний на основе бенчмаркинговых исследований	102
Экономика, управление и рынок продукции.....	108
<i>Файнштейн С.И., Тутарова В.Д., Калитаев А.Н., Букреев А.Ю., Колесников Е.Ф.</i> Оперативное планирование движения готовой продукции на складах металлургических предприятий.....	108
Abstracts.....	113
Сведения об авторах	117

CONTENT

The development of mineral deposits and industrial units.....	5
<i>Rakhimov Z.R., Barulin A.I.</i> The research of test stand hardness influence on the accuracy of slope modeling.	5
<i>Gavrishev S.E., Pytalev I.A.</i> Advanced trends in the use of dumps and mined-out areas.....	10
<i>Ugolnikov B.K., Simonov P.S.</i> The definition of conversion factors by calculating of equivalent crushing charges.	14
<i>Krinitsin R.V.</i> Monitoring of ore and rock mass stressed states in scrubbing blocks of “Magnezitovaya” mine.	18
Ferrous, non-ferrous and less-common metallurgy.....	22
<i>Bryalin M.F. Kolokoltsev V.M., Goltsev A.S.</i> The improvement of heat and wear-resisting Cr-Mn iron casting properties.....	22
<i>Piksaev V.A., Yachikov I.M.</i> The experiment of using power criterion of cracking in designing of continuous casting machine (C.C.M.).....	26
<i>Parsunkin B.N., Andreyev S.M., Usachev M.V., Nalivkin A.K., Mikhailchenko E.S.</i> The optimization control of thermal and power conditions during technological periods in electric arc melting.	30
<i>Sibatullin S.K., Majorova T.V., Polinov A.A.</i> The influence of changes in gas condition parameters on its importance in a blast furnace.	34
<i>Veliky A.B., Kazakov A.A., Phylippova V.P., Alekseev A.G.</i> The electromagnetic stirring effect on the structure and chemical homogeneity of the continuous billet grade.....	37
<i>Sychkov A.B.</i> Non-metallic inclusions in high-carboned steel.	40
<i>Chumanov V.I., Pyatygin D.A., Chumanov I.V.</i> Steel strengthening by hard-melting dispersion phase.....	49
<i>Chaykin V.A., Boldirev D.A., Chaykina N.V.</i> The investigation of features of the ductile iron graphitizing modification with mixed modifiers in the conditions of JSC “AVTOVAZ”.	53
Metal-forming process	59
<i>Zhelezkov O.S., Mikhailova U.V.</i> Features of plate springs punching.	59
<i>Devychenko L.D.</i> The multivariate correspondence analysis of organizational attributes and production results in rolling manufacture.	61
<i>Rumyantsev M.I., Shubin I.G., Zavalischin A.N., Kornilov V.L., Budanov A.P., Tsepkin A.S., Panteleeva N.A., Oplachko T.V., Pitrenina M.A.</i> The estimation of the thin hot-rolled strip quality for replacing cold-rolled sheet steel of general purposes.	69
<i>Tulupov O.N., Ruchinskaya N.A., Moller A.B., Limarev A.S., Lutsenko A.N.</i> The quality control or rolled section by using rational warning actions in mill setting.	73
Modelling of metallurgical processes	81
<i>Dubskiy G.A., Vdovin K.N., Nefedev A.A., Dubskaya T.Ya.</i> The experimental unit for the research of thermophysical solid properties by the method of periodical heat waves.....	81
Nanotechnologies and nanomaterials.....	89
<i>Chukin M.V., Valiev R.Z., Raab G.I., Koptseva N.V., Ephimova U.U.</i> The research of the nanostructured steels 20 and 45 evolution at critical degrees of plastic deformation.	89
Reliability and durability of metal equipment.....	94
<i>Dudorov E.A., Zhirkin U.V.</i> Modernization of bearing assembly for the extension of its resource.....	94
<i>Kadoshnikov V.I., Kulikov S.V., Shestopalov E.V., Kulikova E.V.</i> Reliability modeling of rolling manufacture units as complex technical systems.	96
Standartization and metal quality management.....	99
<i>Chukin V.V., Artyukhin V.I., Rubin G.Sh., Vakhitova F.T., Guseva E.N.</i> Fasteners upgrading project	99
<i>Alenina M.N., Kuznetsova E.N., Shemshurova N.G.</i> The system development of joint companies quality management by means of benchmarking researches.....	102
Economics, management and production market	108
<i>Fainstein S.I., Tutarova V.D., Kalitaev A.N., Bukreev A.U., Kolesnikov E.F.</i> Efficient planning of ready production movement at warehouses of metallurgical plants.	108
Abstracts.....	113
Information about authors.....	117

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

УДК 621.721: 778.38: 620.10

Рахимов З.Р., Барулин А.И.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЖЕСТКОСТИ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА НА ТОЧНОСТЬ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОТКОСОВ

Для изучения процессов, происходящих в массиве, подсеченном горной выработкой, часто применяется метод моделирования. В моделировании проявлений горного давления используются три вида стендов: объемный, плоский и лоток. Независимо от выбранного для моделирования типа стенда особое внимание необходимо уделять собственной жесткости его конструкции. Недостаточная жесткость конструкции стенда может не только влиять на точность измерения деформаций, но и оказывать негативное влияние на изучаемый исследователем процесс или явление. Еще до начала разработки проекта моделирования или создания стенда индивидуального назначения следует решить целый ряд вопросов, таких как: жесткость стенда, прочность основания, на котором планируется его разместить, противодействие факторам, которые могут оказывать существенное негативное влияние (колебания каркаса здания, перепады температур), и т. д.

Указанный перечень проблем решается в связи с созданием стенда для моделирования откосов. Показанная на **рис. 1** рамная конструкция для моделирования открытых горных выработок изготовлена в условиях мастерских Рудненского индустриального института из разборных компонентов для удобства транспортирования в лабораторию. Боковые стойки и основание каркаса модели изготавливаются из швеллера № 16 П (сталь 3). Для придания устойчивости и дополнительной жесткости методом ручной дуговой сварки к нижним частям боковых стоек присоединяются поперечные упоры из уголкового профиля, а к основанию каркаса – крепежные площадки. Конструкция собирается в помещении лаборатории при помощи болтовых соединений М10×60, через три отверстия, обеспечивающие плоский надежный контакт соединяемых частей конструкции. Для решения специфических задач исследования влияния внешних факторов на устойчивость открытых горных выработок каркас

может дополняться механизмом задания внешнего давления, который также существенно повышает жесткость каркаса стенда. С целью улучшения условий изготовления модели массива горных пород механизм имитации внешнего давления может удаляться.

К основным нагрузкам, которым должен противостоять каркас исследовательского стенда, относятся: вес материала, из которого изготавливается массив модели и внешняя нагрузка, имитирующая давление машин или внешних отвалов. Модель изготавливается в ограниченном объеме каркаса и боковых опалубок, представляющих собой отрезки швеллера № 16, прикрепляемые к каркасу болтами М8×30 на период формирования массива модели. Материал моделирования закладывается в ограниченный опалубкой объем небольшими слоями 0,05–0,1 м. Для придания устойчивой плотности материалу моделирования слои уплотняются 20-кратным прокатыванием 10-килограммового ролика по наложенной сверху полосе линолеума. Чтобы исключить обрушение модели после снятия опалубки, между слоями в шахматном порядке укладываются тяжи компенсации бокового распора материала моделирования. Тяжи представляют собою парные кольца, изготовленные из листового материала, навинченные на концы резьбовой шпильки.

Разработанная конструкция стенда для испытания плоских моделей позволяет формировать модели откосов из эквивалентных или физически подобных материалов и проводить исследования на деформируемость при искусственном нагружении посредством конструкции рычажной системы, а также без нагрузки.

Одна боковина каркаса надежно крепится к бетонному фундаменту двумя закладными болтами, а вторая оставлена свободно опертой. Такая фиксация стенда обеспечивает свободное изменение длины основания каркаса при изменении температуры в помещении лаборатории.

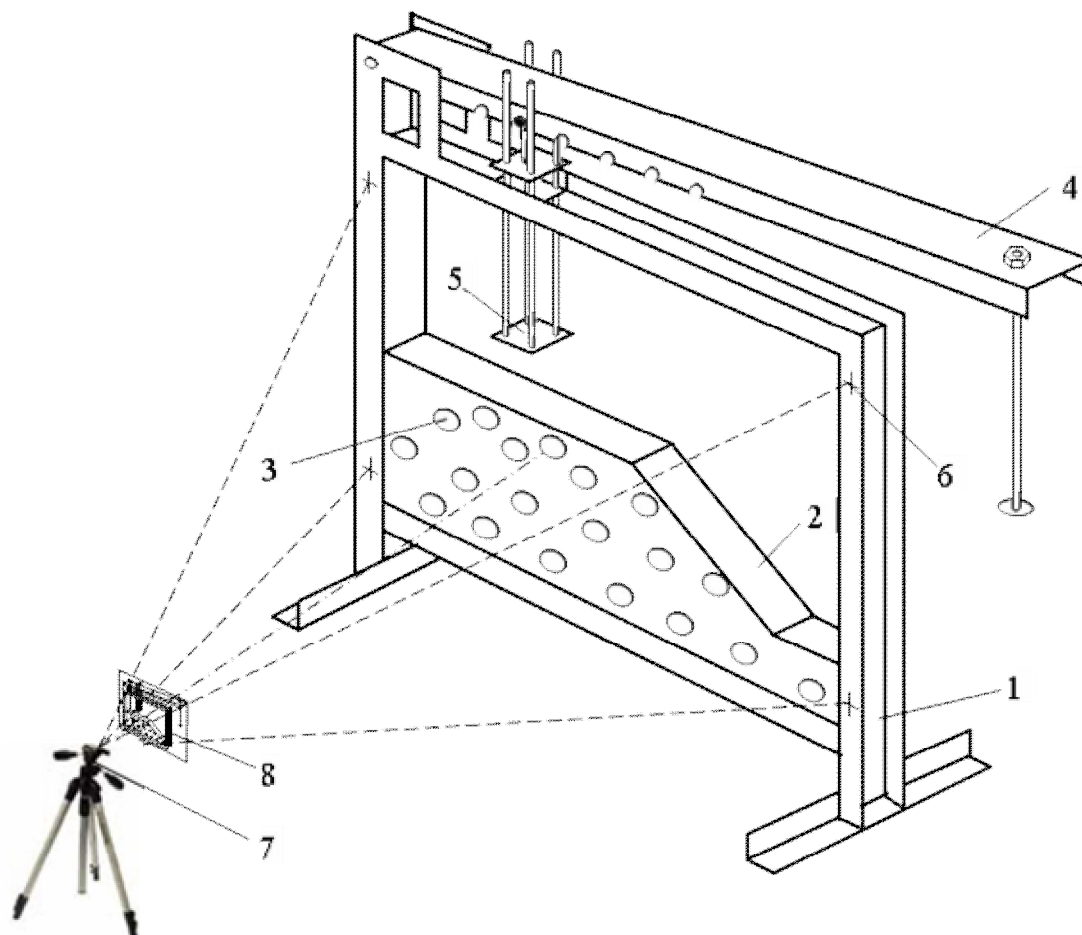


Рис. 1. Общий вид станда для моделирования:

1 – несущий каркас; 2 – откос из эквивалентного материала или породы; 3 – тяжести компенсации бокового распора материала моделирования; 4 – механизм внешнего давления; 5 – площадка имитации давления внешнего отвала; 6 – опорные марки; 7 – фотоаппарат на штативе; 8 – снимок модели

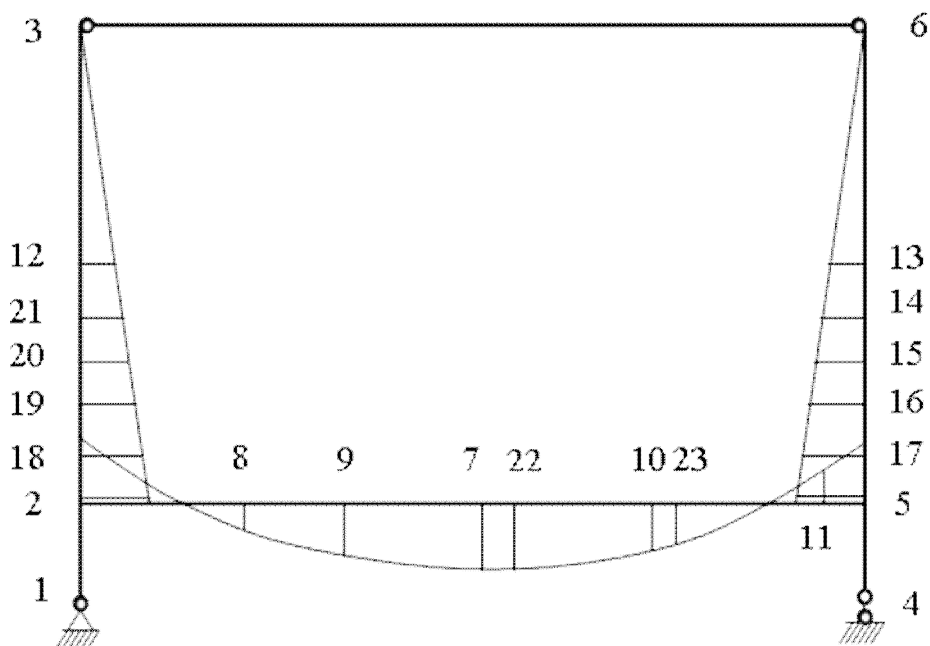


Рис. 2. Эпюра моментов станда, нагруженного моделью нетронутых массива

Расчет на жесткость стенда для моделирования проведен как для рамной конструкции в виде балки с одной шарнирно-закрепленной и одной шарнирно-незакрепленной опорами и ригелем, выполняющим функцию затяжки. Расчет осуществлен методом конечных элементов с использованием программы Лира 9.0 [1]. Проверка точности расчетов для некоторых точек стенда осуществлена, используя метод сил на основе формулы

$$\delta_k = \int \frac{M_k \cdot M}{E \cdot J} dS,$$

где M_k – эпюра моментов в заданной системе от единичной силы; M – эпюра моментов от заданной расчетной нагрузки; E – модуль упругости первого рода; J – момент инерции элемента стенда.

Окончательная эпюра моментов для полного нагружения стенда, характерного для нетронутого состояния массива горных пород, представлена на **рис. 2**.

На **рис. 2** максимальный момент составляет 110 Н·м в точке 7, а минимальный – минус 87 Н·м в точках 2 и 5. Прогиб данной рамной конструкции в вертикальном направлении изменяется от 0 в узловой точке 1 до минус 0,094 мм в точке 7. В горизонтальном направлении прогиб изменяется от 0 в точке 1 до 0,075 мм в узловых точках 12 и 21.

При формировании откосной части из модели шпателем удаляется определенное количество материала, что приводит к уменьшению прогиба его элементов. В **табл. 1** представлены результаты расчетов вертикального, а в **табл. 2** – горизонтального прогибов стенда при формировании различных моделей откоса.

Из данных, приведенных в **табл. 1** и 2, видно, что смещения каркаса стенда, рассчитанные в

миллиметрах, незначительны. Так, в точке 7 максимальная разность вертикальных смещений составляет 0,011 мм, а в точках 4 и 13 максимальная разность горизонтальных смещений достигает 0,009 и 0,007 мм соответственно. Хотя наибольшее влияние на деформированное состояние стенда относится к состоянию модели нетронутого массива, при создании откоса уровень перемещений уменьшается незначительно.

Так как представленный стенд разработан также и для моделирования нагруженных откосов, то описанным выше способом был выполнен анализ его напряженно-деформированного состояния при условии действия на откос равномерно распределенной по длине нагрузки. Такая задача достаточно часто встречается при оценке влияния на напряженно-деформированное состояние откоса и его устойчивость машин и агрегатов большой единичной мощности (например, драглайнов) или внешних отвалов.

Влияние равномерно распределенной нагрузки на деформирование каркаса стенда исследуется для различных значений высот и углов наклона откосов. Изучается также влияние величины нагрузки (q), длины приложения (l) и ее удаленности от верхней бровки откоса. На **рис. 3** пред-

Таблица 2

Горизонтальные смещения каркаса стенда (мм) при моделировании откосов

Номер узла	Состояние нетронутого массива	Параметры откоса в массиве глинистых пород			
		H=0,25 м, α=30°	H=0,25 м, α=45°	H=0,15 м, α=60°	H=0,15 м, α=20°
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	0,038	0,036	0,038	0,038	0,038
3	0,039	0,048	0,043	0,042	0,041
4	0,077	0,068	0,074	0,074	0,075
5	0,039	0,036	0,038	0,038	0,038
6	0,038	0,048	0,042	0,042	0,041
7	0,039	0,036	0,038	0,038	0,038
8	0,038	0,036	0,038	0,038	0,038
9–11	0,039	0,036	0,038	0,038	0,038
12	0,075	0,074	0,075	0,075	0,074
13	0,003	0,010	0,006	0,005	0,005
14	0,002	0,008	0,004	0,004	0,004
15	0,004	0,010	0,006	0,006	0,006
16	0,011	0,014	0,012	0,012	0,012
17	0,022	0,023	0,023	0,023	0,023
18	0,055	0,052	0,054	0,054	0,054
19	0,066	0,063	0,066	0,065	0,065
20	0,073	0,070	0,072	0,072	0,072
21	0,075	0,073	0,075	0,075	0,075
22, 23	0,039	0,036	0,038	0,038	0,038

Таблица 1

Вертикальные смещения каркаса стенда (мм) при моделировании откосов

Номер узла	Состояние нетронутого массива	Параметры откоса в массиве глинистых пород			
		H=0,25 м, α=30°	H=0,25 м, α=45°	H=0,15 м, α=60°	H=0,15 м, α=20°
1–6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7	-0,094	-0,083	-0,091	-0,091	-0,091
8	-0,045	-0,041	-0,044	-0,044	-0,044
9	-0,082	-0,074	-0,080	-0,080	-0,080
10	-0,079	-0,068	-0,076	-0,076	-0,076
11	-0,011	-0,009	-0,010	-0,010	-0,010
12–21	-0,000	-0,000	-0,000	-0,000	-0,000
22	-0,092	-0,081	-0,090	-0,081	-0,090
23	-0,066	-0,056	-0,063	-0,056	-0,063

ставлено деформированное состояние каркаса модели от влияния откоса высотой 0,25 м с углом наклона 30° (а) и того же откоса, нагруженного равномерно распределенной на длине $l = 0,16$ м нагрузки $q = 2000$ Н (б). Из рисунка следует, что независимо от типа нагружения каркас стенда претерпевает сходное деформирование, заключающееся в прогибе боковых стоек внутрь и основания вниз. Качественно различим только практически равномерный прогиб основания каркаса стенда при воздействии на него материала моделирования откоса, а при внешнем нагружении откоса точка максимального прогиба смещается в сторону оси этой нагрузки. Прогиб становится неравномерным.

Большое различие отмечается только при количественном анализе изменения значений смещений и действующих на рамную конструкцию поперечных моментов M_y . Величина абсолютного перемещения наиболее деформированной части основания модели откоса составляет минус 0,09 мм, тогда как при внешнем нагружении она возрастает до значения минус 0,28 мм. Так же, приблизительно в 3 раза, возрастает и величина горизонтального прогиба боковин каркаса, с 0,07 до 0,26 мм. Отношение действующих в рамной конструкции поперечных моментов достигает четырех.

Другим фактором, оказывающим влияние на деформации стенда, является температурное расширение, которое определяется для стоек и балки по формуле

$$\Delta L = \Delta t \cdot \alpha \cdot L,$$

где Δt – максимальное изменение температуры, $\Delta t = 2^\circ\text{C}$; α – температурное расширение стали Ст3, $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; L – длина стоек 1200 и балки 1160 мм, изготовленных из стали Ст3.

Для стоек температурное расширение и изменение их длин составляет 0,0216 мм, для балки – 0,0209 мм. Деформации, вызванные температурными перепадами, в 2–3 раза меньше максимальных деформаций от нагружения стенда глинистым материалом.

Суммарная максимальная величина погрешности определения смещений m в плоскости наблюдений рассчитывается по формуле

$$m = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta M^2},$$

где ΔL – максимальное абсолютное температурное смещения каркаса; ΔM – максимальное абсолютное смещение узловой точки каркаса от веса материала моделирования и внешней нагрузки.

Таким образом, при моделировании ненагруженных откосов максимальная погрешность определения смещений составляет 0,078 мм, а для откосов при условии максимально возможной, по конструктивным соображениям, внешней нагрузке – 0,38 мм. Следовательно, недостаточно обоснованными выглядят результаты, полученные на моделях с большими габаритными размерами при использовании оптических тензодетекторов, обеспечивающих погрешность отсчитывания в 0,01 мм [2].

В выполненном моделировании нагруженного внешним отвалом откоса для исследования его механизма деформирования и очертаний наиболее напряженной поверхности скольжения [3] используется метод фотограмметрии. Перемещения участков откоса находятся по разности

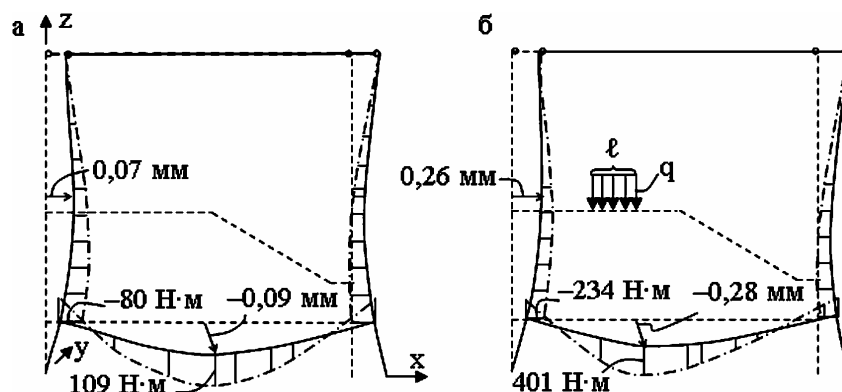


Рис. 3. Деформированное состояние каркаса стенда от действия ненагруженного и нагруженного откосов, совмещенное с эпюрой осевых моментов M_y

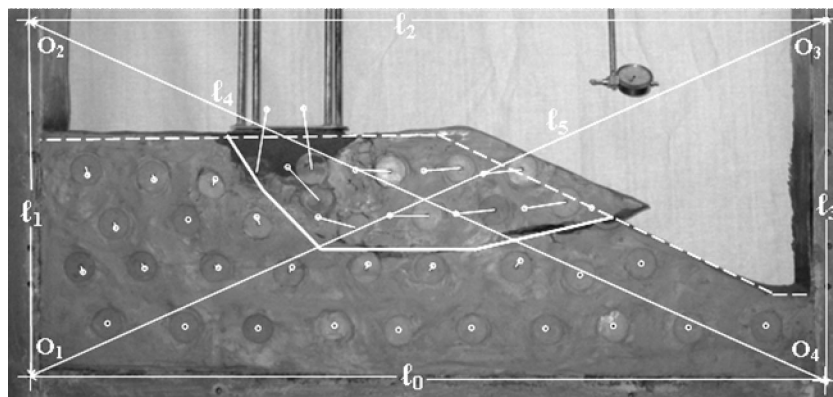


Рис. 4. Определение деформирования каркаса модели при обработке снимков

Таблица 3

Оперативный контроль жесткости каркаса стенда для модели № 34

Этап моделирования (i)	Геометрические элементы контроля жесткости рамы, мм							
	l_0	l_0/l_0^0	l_2	l_2/l_2^0	$l_{1,3}$	$l_{1,3}/l_{1,3}^0$	l_6	l_6/l_6^0
Ненагруженный каркас (l_6^0 – базовое значение)	1199,00	1,000	1198,00	1,000	532,10	1,000	1035,10	1,00000
С моделью массива	1199,00	1,000	1198,00	1,000	532,10	1,000	1035,27	0,99984
С моделью откоса	1199,00	1,000	1198,00	1,000	532,10	1,000	1035,26	0,99985
С нагруженным откосом	1199,00	1,000	1198,00	1,000	532,10	1,000	1035,43	0,99968

смещений центров тяжей, полученных с фотоснимков в разные периоды наблюдений: в нетронутым массиве, после создания откоса и каждого шага внешнего нагружения. Один из конечных фотоснимков деформированной модели откоса представлен на **рис. 4**.

Необходимы минимальные затраты для оперативного контроля жесткости конструкции стенда в процессе моделирования откосов, сопряженные с проверкой постоянства основных геометрических элементов рамы. К основным геометрическим элементам относятся расстояния между опорными фотограмметрическими марками, закрепленными на каркасе (O_1, O_2, O_3, O_4). При фотограмметрическом измерении деформаций они используются для вычисления коэффициентов продольного и поперечного подобия, а также для взаимного ориентирования снимков. Отклонение отношений одноименных линейных значений (l_0, l_1, \dots, l_6), измеренных по снимкам, позволяет выполнять оценку жесткости конструкции от снимка к снимку. Вертикальное расстояние по середине рамной конструкции (l_6) не показано вследствие удаления верхней, не информативной части фотоснимка. Результаты контроля жесткости рамной конструкции для представленной на **рис. 4** модели откоса приведены в **табл. 3**. Анализ этих результатов свидетельствует об удовлетворительном соответствии рассчитанных методом конечных элементов и измеренных по снимкам значений перемещений рамной конструкции.

Так, например, невозможно четко зафиксировать изменение длины элементов геометрического контроля исходного прямоугольника (l_0, l_1, l_2 и l_3), объясняемого тем, что прогибы стоек и основания рамного каркаса модели симметричны, одинаковы и незначительны по абсолютной величине. Однако общая высота рамного просвета l_6 изменяется на величину, которую можно измерить, и она увеличивается для модели нетронутого массива, незначительно уменьшается при выемке части материала для формирования откоса и вновь увеличивается при имитации давления внешнего отвала. Если предположить, что максимальные абсолютные значения деформаций каркаса модели в наиболее интересующей исследователя зоне суммируются, то эта величина и является непрогнозируемой погрешностью измерений. Следовательно, точность определения смещений точек модели должна быть на порядок ниже.

В связи с выполненными исследованиями жесткости каркаса стенда при обработке цифровых фотоснимков не следует стремиться к получению перемещений с максимально возможной точностью. В связи с этим, при помощи программного продукта Adobe Photoshop 7.0 на компьютере измерения должны быть ограничены разумной точностью в 1 мм. В том случае, если обработке подвергаются результаты исследований деформирования ненагруженных откосов, тогда точность может быть повышена на порядок.

Библиографический список

1. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций. Лира версия 9.0. Руководство пользователя. Кн. 3. Примеры расчета и построения / Под ред. А.С. Городецкого. Киев: Изд-во НИИАСС, 2002. 99 с.
2. Моделирование проявлений горного давления / Кузнецов Г.Н., Будько М.Н., Васильев Ю.И., Шклярский М.Ф., Юревич Г.Г. / Под ред. Г.Н. Кузнецова. Л.: Недра, 1968. 280 с.
3. Рахимов З. Р., Барулин А. И. Моделирование откосов методом физического подобия // Материалы 65-й науч.-техн. конференции: Сб. докл. Т. 1. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. С. 156–158.

Гавришев С.Е., Пыталев И.А.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТВАЛОВ И ВЫРАБОТАННОГО КАРЬЕРНОГО ПРОСТРАНСТВА

Горнодобывающие предприятия, ведущие разработку месторождений полезных ископаемых открытым способом, подошли к тому рубежу, когда становится очень сложно существенно повышать эффективность работы карьера за счет увеличения производительности и снижения ресурсоемкости основных технологических процессов. Причиной этого является то, что развитие техники и технологии направлено на увеличение производительности и снижения ресурсоемкости, однако в настоящее время крупные по запасам месторождения отработаны или находятся в стадии доработки, а те, которые вовлекаются в разработку, имеют более сложные горно-геологические и горнотехнические условия или представлены средними и мелкими месторождениями.

В теории и практике открытой добычи полезных ископаемых можно выделить следующие основные этапы: I этап – разработка крупных месторождений с высоким содержанием основного компонента и использованием высокопроизводительного горнотранспортного оборудования; II этап – освоение технологии добычи попутных полезных ископаемых совместно с основным компонентом; III этап – вовлечение в разработку мелких и средних по запасам месторождений с целью извлечения максимального количества компонентов. Использование высокоэффективного добычного, транспортного, перерабатывающего оборудования; IV этап – происходит замена природных ресурсов повторно извлекаемым сырьем горного и обогатительного производств, то есть освоение техногенных георесурсов и техногенных месторождений в частности. В связи с чем повышение эффективности ведения открытых горных работ без внедрения новых подходов и технологических решений невозможно.

Вопросы комплексного использования недр для повышения рентабельности горнодобывающих предприятий широко распространены на практике. Однако, не смотря на то, что еще в 1982 году академиком Агошковым М.И. предложены шесть групп возможных георесурсов, на сегодняшний день многие их виды практически не реализуются [1]. Комплексное использование георесурсов заключается в извлечении нескольких полезных компонентов и переработке вскрышных пород. Поэтому необходимы работы,

направленные на формирование техногенных георесурсов, эксплуатация которых возможна не только в отдаленной перспективе, но в ближайшем будущем. В первую очередь это относится к формированию отвалов горных пород, складов некондиционных руд, карьерного пространства таким образом, что в дальнейшем они будут использованы в качестве заменителей некоторых природных и производственных ресурсов, что позволяет говорить о возможности создания в результате работы горных предприятий новых видов продукции (техногенных георесурсов).

Работа горного предприятия, как и любого другого, в общем виде может быть представлена в виде процесса взаимодействия ресурсов (сырья) и технологии его добычи и переработки, в результате чего производится готовая продукция и отходы, далее готовая продукция реализуется, а отходы утилизируются (рис. 1). При этом отходы – это неизбежность, от них невозможно избавиться полностью, но возможно свести к минимуму их образование за счет усовершенствования технологии и оборудования. Ежегодно образование отходов предприятий, обеспечивающих сырьем металлургическое производство, только увеличивается, это в первую очередь связано с наращиванием производительности перерабатывающих предприятий и одновременно усложняющимися горно-геологическими условиями разработки месторождений, а также снижением среднего содержания полезных компонентов в добываемой гонной массе. Тем самым на земной поверхности формируются огромные по занимаемой площади отвалы различных отходов как от горного, так и от перерабатывающего производств.

Отходами горного производства традиционно считаются неиспользуемые продукты добычи и переработки минерального сырья, выделяемые из массы добытого полезного ископаемого (горной массы) в процессах разработки месторождения. Согласно последним работам, посвященным формированию техногенных георесурсов, отходы горного производства также могут являться техногенными георесурсами при определенном способе их формирования. Таким образом, техногенные георесурсы возможно формировать в виде техногенных месторождений или различных сооружений. В связи с этим необходимо выделять три ка-

тегории пород отвалов в зависимости от экономической целесообразности их переработки и возможных направлений дальнейшего их использования: 1 – породы, технология переработки которых известна и в настоящее время экономически целесообразна; 2 – породы, переработка которых с использованием известных технологий в настоящее время экономически нецелесообразна, к этим породам относятся некондиционные руды или металлосодержащие минералы; 3 – породы, технология переработки которых отсутствует и неизвестна возможная сфера их применения [2].

На основе выделенных категорий пород возможна реализация способов формирования отвалов в виде техногенных георесурсов:

1) Формирование отвалов из пород 1-й категории в виде техногенного георесурса производится селективным складированием пород, фракционированием их по крупности и по составу. Склади-

рование осуществляется на специально подготовленных площадях с возможностью отгрузки пород для последующей переработки или непосредственно потребителю (рис. 2).

2) Формирование отвалов из пород 2-й категории в виде техногенного георесурса производится с консервированием пород и их складированием на площадях, изолированных от поверхности земли, с уклоном, позволяющим собирать и нейтрализовать или перерабатывать кислые стоки (рис. 3). При складировании пород 2-й категории возможно создание условий полезного взаимодействия исходных компонентов, что позволяет улучшить свойства пород или создать новые виды минерального сырья с минимальными дополнительными затратами.

3) Формирование отвала из пород 3-й категории как техногенного георесурса производится в виде инженерного сооружения (рис. 4). Следует

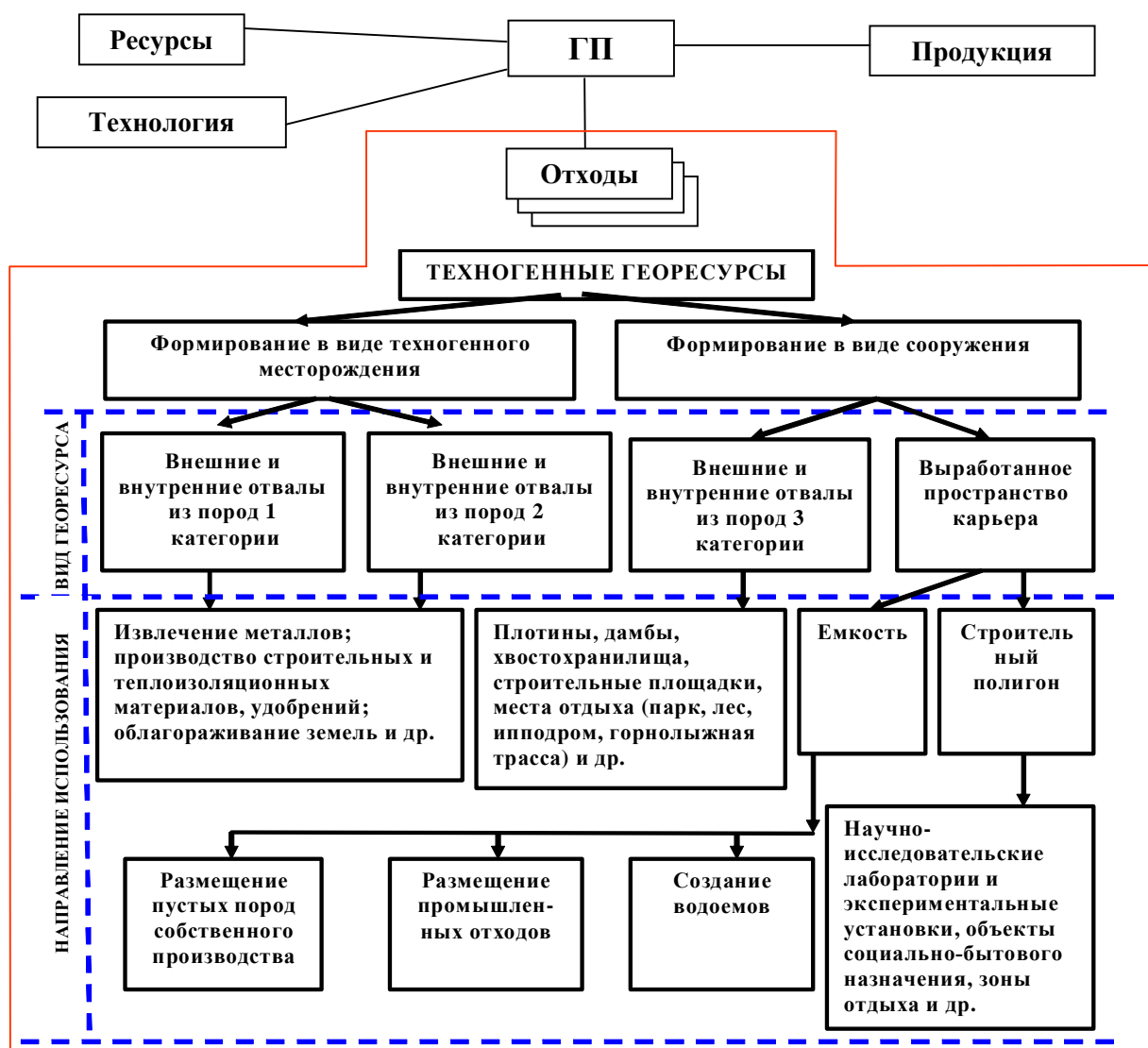


Рис. 1. Виды и направления создания и использования техногенных георесурсов

учитывать местонахождение горного предприятия по отношению к населенным пунктам, промышленным предприятиям, так как отвал может быть сформирован как место для отдыха (парк, лес, ипподром, горнолыжная трасса), строительная площадка или емкость.

Формирование георесурсов в виде емкостей открывает большие возможности по утилизации отходов сторонних промышленных предприятий (рис. 5). При этом основными направлениями являются использование выработанного карьерного пространства и отвала вскрышных пород.

Карьерные выемки, как правило, располагаются вблизи уже имеющихся техногенных обра-

зований и в случае вовлечения их в переработку обеспечивают практически идеальные условия для складирования с учетом фактора дальности транспортировки отходов; по завершению функционирования полигона пылеобразование полностью исключается, так как отходы будут располагаться ниже земной поверхности; заполнение карьерных выемок отходами не только ликвидирует угрозу развития деформационных процессов в виде оползней, опускания территории и ее заболачивания, но и обеспечивает технический этап рекультивации нарушенных земель, что снижает до минимума затраты на их возвращение в хозяйственный оборот.

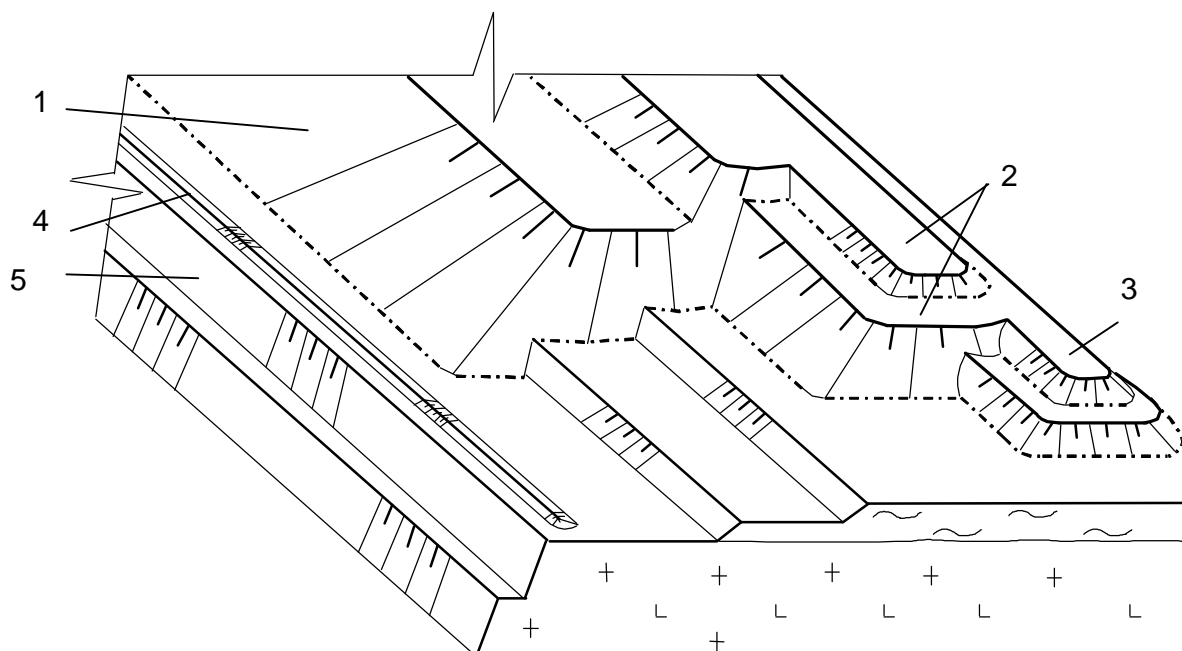


Рис. 2. Формирование техногенных георесурсов в общем виде:

- 1 – породы скальной вскрыши; 2 – полускальные породы вскрыши; 3 – глинистые породы;
- 4 – предохранительный вал; 5 – контур карьера

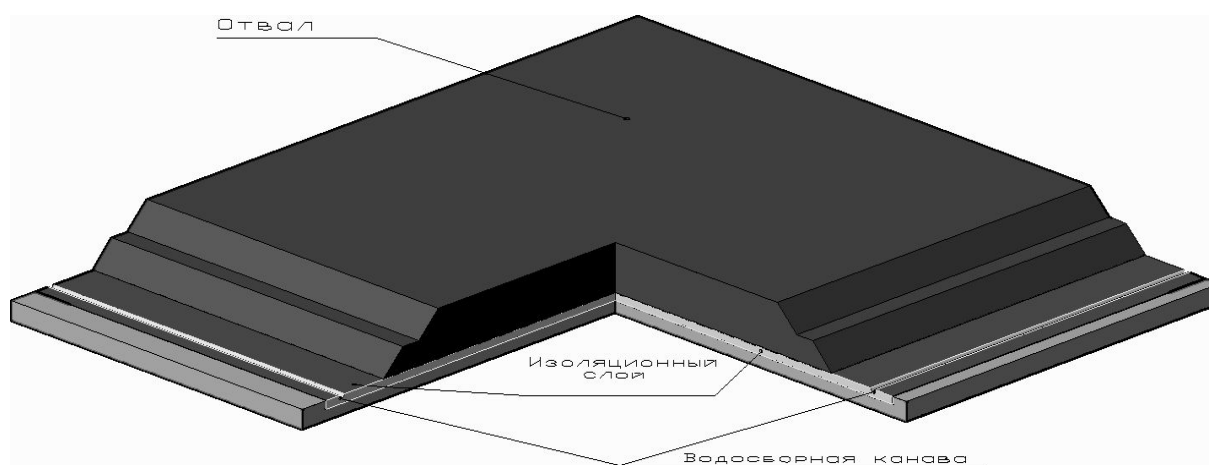


Рис. 3. Формирование техногенных объектов, переработка которых с использованием известных технологий в настоящее время экономически нецелесообразна

При использовании отвалов дренаж и дегазация в них технически проще и легче контролируемы. При высоких насыпях отходов значительно снижается коэффициент проницаемости грунта, в результате улучшается естественная защитная функция и, кроме того, грунтовые воды большей частью обтекают этот более плотный участок. Откосы захоронения легко вписываются в местный ландшафт.

Примером использования техногенных георесурсов является карьер «Западный» горы Магнит-

ной, он используется как емкость для складирования доменных и мартеновских шлаков, а также промышленных отходов, кроме того, по завершению засыпки карьера до проектной отметки одновременно завершится этап его рекультивации. Тем самым, обеспечивается формирование техногенного месторождения и использование георесурса в виде емкости. При этом содержание железа в доменных шлаках колеблется в пределах 13–15%, это позволяет предположить что в дальнейшем данное

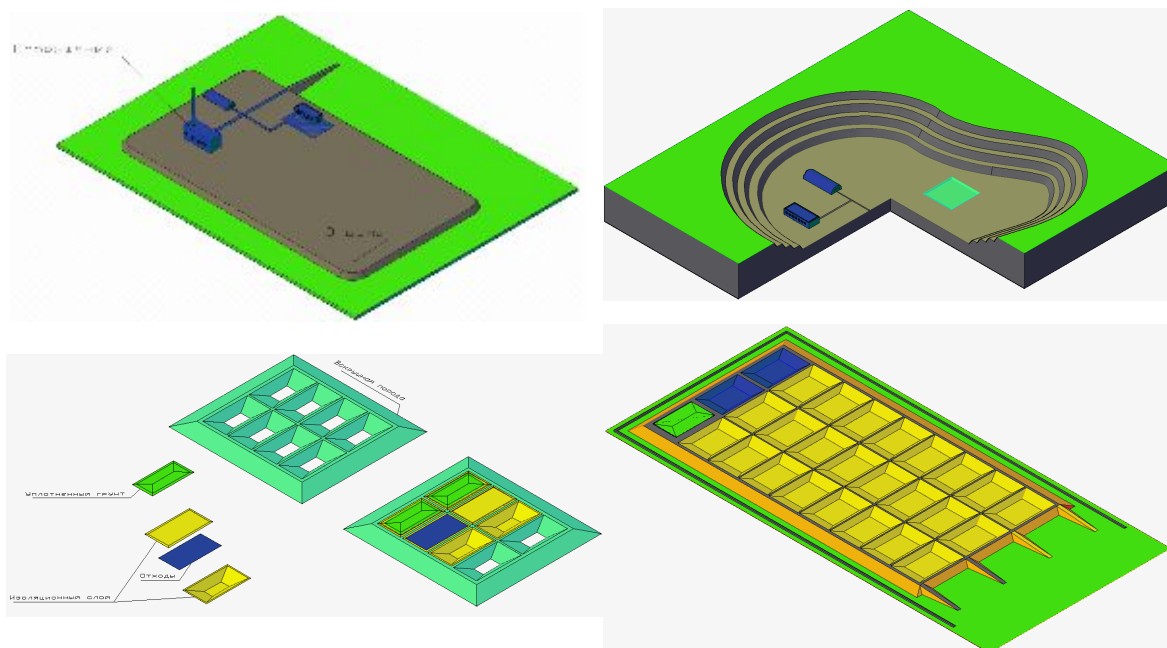


Рис. 4. Формирование техногенный объектов, технология переработки которых отсутствует и неизвестна возможная сфера их применения

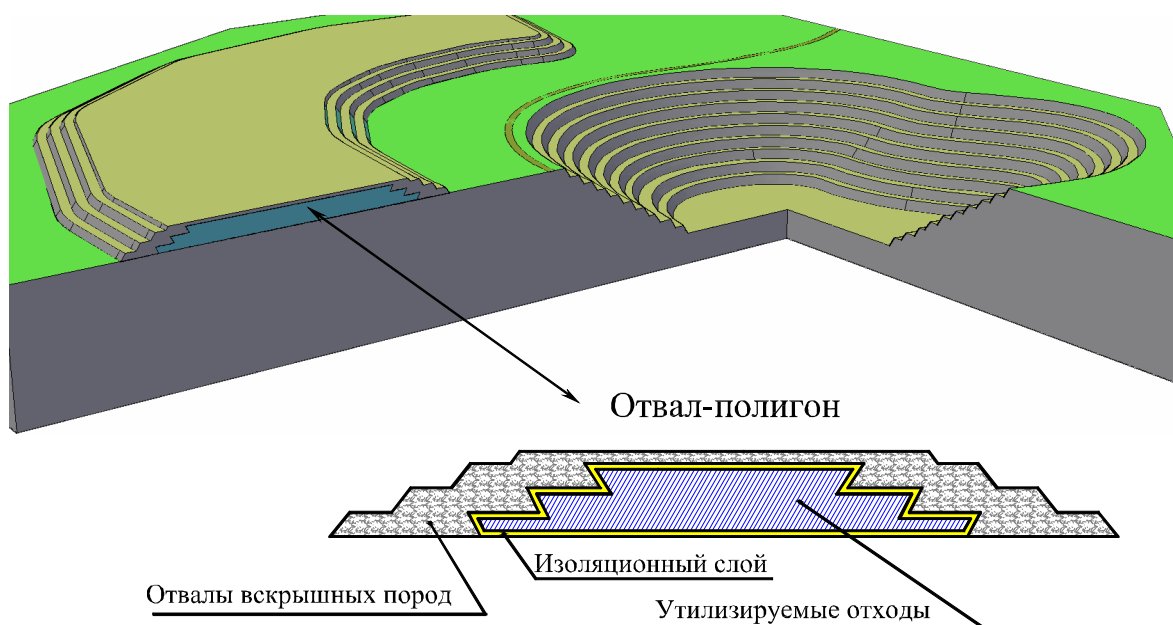


Рис. 5. Утилизация отходов в теле отвала

техногенное месторождение будет вовлечено в разработку, однако при этом могут возникнуть затруднения по следующим причинам: отсутствие карт отсыпки; отсутствия четких зон складирования различных отходов, то есть это приведет к дополнительным затратам на сортировку сырья.

В г. Ганновер центральное хранилище возвышается на 60–120 м над естественной поверхностью и образует искусственный холмистый ландшафт с четырьмя вершинами площадью около 140 га. Высота отвального захоронения зависит от топографии и несущей способности грунта [3].

Еще одним примером использования техногенных георесурсов в виде выработанного карьерного пространства является строительство отеля Songjiang beauty spot hotel в Китае на дне карьера (рис. 6). Архитекторы разместили комплекс отеля внутри заполненного водой карьера. На 100 метровой глубине карьера будут расположены 400 номеров, бары, рестораны, спортивный комплекс. На самой глубине карьера, под водой, разместится спортивно-досуговый комплекс с плавательным бассейном и водными развлечениями. При проектировании отеля были учтены все требования современной "экологической архитектуры", от размещенного на крыше парка, вплоть до геотермического из-



Рис. 6. Отель Songjiang beauty spot hotel в Китае

влечения энергии [4].

Однако данное решение возможно реализовать лишь в условиях отработанных карьеров нерудных строительных материалов, так как слагающие породы рудных карьеров более агрессивны по воздействию на окружающую среду и здоровье человека. В связи с чем железорудные карьеры целесообразнее использовать в качестве емкостей для складирования промышленных отходов.

Библиографический список

1. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли / Под ред. К.Н. Трубецкого. М.: Изд-во АГН, 1997.
2. Гавришев С.Е., Заляднов В.Ю., Пыталев И.А. Расширение области рационального использования техногенных георесурсов // Горный информ.-аналит. бюллетень. 2006. № 9. С. 252–258.
3. Бартоломей А.А., Брандл Х., Пономарев А.Б. Основы проектирования и строительства хранилищ отходов: Учеб. пособие. М.: Изд-во АВС, 2004. 144 с.
4. Строительные материалы, оборудование, технологии. 2007. № 4. С. 88.

УДК 622.235

Угольников В.К., Симонов П.С.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕВОДНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРИ РАСЧЕТЕ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ЗАРЯДОВ ДРОБЛЕНИЯ

В настоящее время определение проектного удельного расхода взрывчатых веществ осуществляется по зависимостям, учитывающим эталонный удельный расход ВВ и целый ряд поправочных коэффициентов:

– формула Ржевского

$$q_{np} = q_0 \cdot K_{BB} \cdot K_D \cdot K_T \cdot K_{C3} \cdot K_{OB} \cdot K_{СП};$$

– формула Союзвзрывпрома

$$q_{np} = q_0 \cdot K_{BB};$$

– формула Гипроруды

$$q_{np} = q_0 \cdot K_{BB} \cdot K_{ДС} \cdot K_{ДР} \cdot K_b,$$

где q_0 – эталонный удельный расход ВВ; K_T – коэффициент, учитывающий влияние трещиноватости

массива; $K_d, K_{др}$ – коэффициенты, учитывающие требуемую степень дробления; $K_{сз}$ – коэффициент, учитывающий степень сосредоточения зарядов ВВ; $K_{об}$ – коэффициент влияния объема; $K_{сп}$ – коэффициент, учитывающий число свободных поверхностей при взрыве; $K_{дс}$ – коэффициент, учитывающий диаметр скважины; K_b – коэффициент, учитывающий угол наклона скважины; $K_{ВВ}$ – поправочный коэффициент эталонного ВВ к применяемому.

В данных зависимостях $q_э$ и K_T характеризуют взрываемость породы, $K_{ВВ}$ – мощность источника взрыва, которым является взрывчатое вещество, а остальные поправочные коэффициенты характеризуют условия взрывания.

Для оценки поправочного коэффициента эталонного ВВ к применяемому ($K_{ВВ}$) используются следующие зависимости.

1. Упрощенная формула

$$K_{ВВ} = \frac{Q_{ЭГ}}{Q_{ВВ}}, \quad (1)$$

где $Q_{ЭГ}, Q_{ВВ}$ – теплота взрыва соответственно эталонного и принятого ВВ, кДж/кг.

В горной промышленности в качестве эталонного ВВ принят порошкообразный аммонит 6ЖВ.

Практика показала, что для некоторых классов ВВ (составы на основе ионообменных солей, алюминизированные составы) такой метод дает заниженные значения $K_{ВВ}$, что в конечном итоге приводит к ухудшению результатов взрыва. Поэтому было предложено учитывать в методах расчета и объем продуктов взрыва, так как именно они при расширении совершают работу, которая всегда меньше теплоты взрыва.

2. Формула, учитывающая работу, совершаемую продуктами взрыва при их расширении:

$$K_{ВВ} = \frac{A_{ЭГ}}{A_{ВВ}}, \quad (2)$$

где $A_{ЭГ}, A_{ВВ}$ – идеальная работа взрыва соответственно эталонного и принятого ВВ, кДж/кг.

Для расчета идеальной работы взрыва обычно используют зависимости [1, 2]:

$$A = Q \left[1 - \left(\frac{V_n}{V_k} \right)^{n-1} \right]$$

$$\text{или } A = Q \left[1 - \left(\frac{p_k}{p_n} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right],$$

где V_n, V_k – начальный и конечный объемы продуктов взрыва; n – показатель политропы; p_n –

начальное давление продуктов взрыва; p_k – конечное давление продуктов взрыва, когда они, расширившись, совершили полную работу A ; Q – теплота взрыва.

Оценка работоспособности промышленных ВВ по данным зависимостям носит скорее качественный, чем количественный характер, так как отсутствуют данные по p_k (давление зависит от прочности породы). Кроме того, трудно определить величину показателя n , которая зависит от свойств продуктов взрыва. Если, например, в продуктах взрыва 2/3 молекул двухатомных (CO, N_2, H_2) и 1/3 – трехатомных (CO_2, H_2O), то $n=1,25$; если соотношение обратное, т.е. в продуктах 2/3 трехатомных и 1/3 двухатомных молекул, то значение n снизится до 1,20. Если в продуктах взрыва будет значительное количество четырехатомных, пятиатомных молекул или конденсированная фаза ($Al_2O_3, NaCl, SiO_2$ и т.д.), то значение n снизится еще больше.

Обычно принимают $p_k=p_0, V_k=V_0$, где p_0 – атмосферное давление, V_0 – объем продуктов взрыва при нормальных условиях и постоянное для всех ВВ значение $n=1,25$.

3. Формула, учитывающая экспериментальный метод определения работоспособности ВВ в бомбе Трауцля

$$K_{ВВ} = \frac{e_{ЭГ}}{e_{ВВ}}, \quad (3)$$

где $e_{ЭГ}, e_{ВВ}$ – работоспособность соответственно эталонного и принятого ВВ, см³.

Следует отметить, что в экспериментальных методах определения работоспособности измеряется только часть полной работы взрыва ВВ и абсолютное ее значение зависит от метода измерения, а относительная работоспособность ВВ практически остается постоянной.

4. Формула Лангефорса [3]

$$K_{ВВ} = \frac{1}{f},$$

$$f = \frac{5 \cdot \frac{Q_{ВВ}}{Q_{ЭГ}} + \frac{V_{ВВ}}{V_{ЭГ}}}{6}, \quad (4)$$

где f – относительная работоспособность ВВ; $V_{ЭГ}, V_{ВВ}$ – объем продуктов взрыва эталонного и принятого ВВ.

5. Формула Афанасенкова [4]

$$K_{ВВ} = \frac{1}{f},$$

Таблица 1

$$f = \left(\frac{Q_{BB}}{Q_{ЭТ}} \right)^{0,75} \cdot \left(\frac{V_{BB}}{V_{ЭТ}} \right)^{0,25} \quad (5)$$

В качестве примера представим значения переводных коэффициентов для некоторых ВВ, рассчитанные по приведенным зависимостям (табл. 1).

Исходные данные для расчета приняты из [2, 5] и представлены в табл. 2.

Приведенные выше коэффициенты учитывают только энергетические характеристики ВВ. Однако дробление горных пород не может определяться только работой расширения продуктов взрыва, часть энергии затрачивается на образование ударной волны. С удалением от заряда ударная волна переходит в волну напряжений.

При взрыве в радиусе действия ударной волны образуется зона сжатия, в которой порода переизмельчается. Здесь проявляется бризантное действие взрыва, определяемое скоростью детонации и плотностью ВВ.

Энергия волн напряжений нарушает массив в основном по системе естественных микротрещин и других плоскостей ослабления. Последующее расширение продуктов детонации увеличивает образовавшиеся трещины до полного нарушения связности среды.

А.Н. Ханукаев предлагает влияние того или иного фактора на разрушение горных пород взрывом определять величиной их удельного волнового сопротивления – акустической жесткостью (табл. 3).

Таким образом, при определении эквивалентных зарядов дробления необходимо учитывать механизм передачи энергии горной породе, то есть ввести коэффициент K_M .

Считается, что в хрупких средах, характеризующихся высшими значениями упругих постоянных, наиболее целесообразно применение ВВ с высоким начальным давлением и высокой скоростью детонации. По мере уменьшения упругих свойств среды начальное давление в зарядной камере должно уменьшаться одновременно с уменьшением скорости детонации ВВ, определяющую роль здесь играет импульс волны напряжения.

Экспериментальными и теоретическими исследованиями В.Н. Мосинца [8] установлено, что требуемое начальное давление ВВ (МПа) может быть определено по зависимости

$$P_{д.тр} = 0,00126 \cdot \rho C_p - 1700,$$

где ρ – плотность взрывааемых пород, кг/м³; C_p – скорость продольных волн, м/с.

Таким образом, можно заключить что коэффициент, учитывающий механизм передачи

Переводные коэффициенты некоторых ВВ

ВВ	K_{BB}				
	форм. (1)	форм. (2)	форм. (3)	форм. (4)	форм. (5)
Аммонит ПЖВ-20	1,26	1,37	1,35	1,26	1,26
Граммонит 30/70	1,23	1,17	1,09	1,21	1,20
Гранулотол	1,18	1,20	1,26	1,11	1,09
Граммонит 50/50	1,17	1,01	1,06	1,16	1,15
Игданит	1,14	1,13	1,07	1,10	1,08
Гранулит М	1,12	1,13	1,12	1,08	1,06
Граммонит 79/21	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Аммонит 6ЖВ	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Гранулит АС-4В	0,95	1,00	0,91	0,95	0,94
Гранулит АС-4	0,95	0,98	0,91	0,96	0,96
Алюмотол	0,82	0,83	0,85	0,85	0,88

Таблица 2

Характеристики взрывчатых веществ

ВВ	Q_{BB} , кДж/кг	A_{BB} , кДж/кг	V_{BB} , м ³	Δ , кг/м ³	D , м/с	e_{BB} , см ³
Аммонит ПЖВ-20	3404	2594	0,717	1100	3750	270
Граммонит 30/70	3511	3033	0,800	875	4150	335
Гранулотол	3642	2975	1,045	900	6000	290
Граммонит 50/50	3678	3509	0,810	875	3900	345
Игданит	3760	3150	0,980	850	2500	340
Гранулит М	3852	3163	0,980	800	3050	325
Граммонит 79/21	4285	3561	0,895	825	3600	365
Аммонит 6ЖВ	4305	3561	0,895	1000	4200	365
Гранулит АС-4В	4520	3550	0,980	850	3150	400
Гранулит АС-4	4522	3645	0,907	850	3050	400
Алюмотол	5266	4266	0,815	950	5750	430
Аммонал скальный №3	5684	4440	0,810	1050	4400	450

Таблица 3

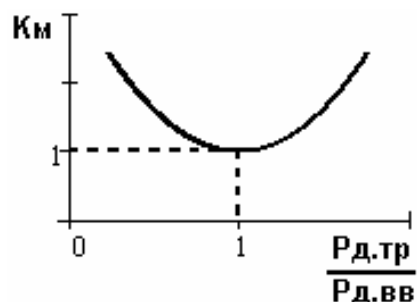
Механизм разрушения пород взрывом [6]

Горные массивы	Основной фактор, вызывающий разрушение	Акустическая жесткость $A \cdot 10^{-6}$, кг/(м ² с)
Рыхлые и связные, скальные и полускальные сильнотрещиноватые	Ударная волна (ближняя зона) Расширяющиеся газы	0,2–5
Скальные и полускальные среднетрещиноватые	Ударная волна (ближняя зона) Волна напряжения Расширяющиеся газы	5–15
Скальные малотрещиноватые и монолитные	Ударная волна (ближняя зона) Волна напряжения	15–25

Таблица 4

Давление детонации ВВ

ВВ	$P_{Д.ВВ}$, МПа	ВВ	$P_{Д.ВВ}$, МПа
Аммонит ПЖВ-20	3867	Граммонит 79/21	2673
Граммонит 30/70	3767	Аммонит 6ЖВ	4410
Гранулотол	8100	Гранулит АС-4В	2109
Граммонит 50/50	3327	Гранулит АС-4	1977
Игданит	1328	Алюмотол	7852
Гранулит М	1861	Аммонал скальный №3	5082



Зависимость $K_M = f(P_{Д.ТР} / P_{Д.ВВ})$

энергии горной породе, является функцией отношения требуемого давления к давлению детонации применяемого ВВ.

$$K_M = f\left(\frac{P_{Д.ТР}}{P_{Д.ВВ}}\right),$$

где $P_{Д.ВВ}$ – давление детонации принятого ВВ, МПа.

Ориентировочная формула для подсчета давления на фронте детонационной волны [1]

$$P_D = \frac{\Delta \cdot D^2}{k + 1} = \frac{\Delta \cdot D^2}{4},$$

где Δ – плотность ВВ, кг/м³; D – скорость детонации, м/с; k – показатель политропы, для промышленных ВВ принимается $k=3$.

В табл. 4 рассчитано давление детонации для представленных в табл. 2 взрывчатых веществ.

График зависимости $K_M = f(P_{Д.ТР} / P_{Д.ВВ})$ представлен на рисунке.

Если $P_{Д.ТР} / P_{Д.ВВ} = 1$, то $K_M = 1$, достигнуто согласование параметров взрываемого массива с параметрами взрывного нагружения.

Если $P_{Д.ТР} / P_{Д.ВВ} < 1$, то $K_M > 1$, при этом наблюдается переизмельчение породы в ближней зоне, с ухудшением дробления в целом. Такой режим встречается крайне редко при взрывании верхних горизонтов карьеров, сложенных сильно-трещиноватыми полускальными породами, высокобризантными ВВ.

Если $P_{Д.ТР} / P_{Д.ВВ} > 1$, то $K_M > 1$. Наиболее часто встречаемый при взрывании на карьерах режим. Поэтому для повышения эффективности взрывного дробления горных пород необходимо применять ВВ с более высокой скоростью детонации и плотностью, что позволяет повысить степень дробления пород при уменьшении удельных затрат энергии.

Таким образом, для определения проектного удельного расхода ВВ с различными детонационными характеристиками необходимо применять зависимость

$$q_{пр} = q_v \cdot K_{ВВ} \cdot K_M,$$

где коэффициент $K_{ВВ}$ характеризует работоспособность ВВ, а коэффициент K_M характеризует механизм передачи энергии горной породе и определяется детонационными свойствами ВВ и упругими свойствами горной породы.

Библиографический список

1. Андреев К.К., Беляев А.Ф. Теория взрывчатых веществ. М.: Оборонгиз, 1960. 595 с.
2. Дубнов Л.В., Бахаревич Н.С., Романов А.И. Промышленные взрывчатые вещества. М.: Недра, 1988. 358 с.
3. Johansson С.Н., Langefors U. Methods of physical characterization of explosives / Proc. of the 36th Intern. Congress on Industrial Chemistry. Brussels. 1972. V. III. P. 610.
4. Афанасенков А.Н. О работоспособности взрывчатых веществ. Метод Трауцля // Физика горения и взрыва. 2004. Т. 40. № 1. С. 132–139.
5. Перечень рекомендуемых промышленных взрывчатых материалов, приборов взрывания и контроля. М.: Недра, 1987. 60 с.
6. Ханукаев А.Н. Физические процессы при отбойке горных пород взрывом. М.: Недра, 1974. 224 с.
7. Мосинец В.Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. М.: Недра, 1976. 271 с.

Креницын Р.В.

МОНИТОРИНГ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВОВ РУД И ПОРОД В ОЧИСТНЫХ БЛОКАХ ШАХТЫ «МАГНЕЗИТОВАЯ»

Саткинское месторождение магнезитов, расположенное в Челябинской области, г. Сатка, представлено серией рудных тел пласто- и линзообразной формой длиной по простиранию от 1,3 до 3,6 км, по падению 100–150 м. Азимут простирания рудных тел 45–55°, падение на юго-восток под углом 35–45°. Средняя нормальная мощность рудных тел 30 м. Вмещающие породы залегают согласно рудным телам и представлены доломитом, сланцами и диабазами. Контакт вмещающих пород с рудой резко выражен, массив разбит трещинами различного направления.

Саткинское месторождение обрабатывается открытым и подземным способом. Оработка нижней части месторождения ведется на горизонтах +340, +260, +180 м. К оработке готовится подэтаж +100 м. Оработка рудных тел подземным способом ведется камерно-столбовой системой восходящими горизонтальными слоями с сухой закладкой выработанного пространства и камерной системой с закладкой камер твердеющими смесями. Для определения оптимальных параметров системы разработки и обеспечения устойчивости массивов руд и пород в очистных блоках на шахте «Магнезитовая» на указанных горизонтах было определено напряженное состояние массива методами щелевой разгрузки, электрометрии и сейсмометрии.

На шахте «Магнезитовая» на трех горизонтах: +297; +277 и +180 м была проведена щелевая разгрузка. На горизонте +297 м разгрузочные щели бурили в камере № 413 и прилегающим к нему разрезном штреке. Было пробурено шесть щелей.

Аналогичные исследования проведены для горизонта +277 м, где было пробурено пять щелей (три щели в камере № 219 и две в разрезном штреке).

На горизонте +180 м измерения НДС горных пород проводились в ортах № 3, 4 и 6, а также в штреке висячего бока. Всего пробурено двадцать щелей. Результаты замеров деформаций массива и обработки результатов представлены в табл. 1.

Анализ измерения напряжений на нижележащем горизонте +180 м показывает, что массив нагружен неравномерно, максимальные сжимающие напряжения расположены по простиранию рудного тела. Это объясняется наличием большой раздробленности массива трещинами, расположенными вкрест простирания рудного тела. Результаты измерений позволили опреде-

лить оптимальные параметры конструктивных элементов системы разработки.

Вслед за оработкой части опытно-добычного блока (ОДБ) камерной системой и частичной закладки камер твердеющими смесями добыча блока была приостановлена из-за недостаточной

Таблица 1

Результаты замеров деформаций массива и обработки результатов

Номер щели	Расположение	ε , мм	σ^k , МПа	σ^m , МПа
Гор.+297 м, камера № 413				
1	вертикальная	0,13	-13,6	-16,3
2	горизонтальная	0,09	-9,4	-9,0
3	вертикальная	0,11	-11,5	-14,2
4	горизонтальная	0,07	-7,3	-8,3
Гор. +297 м, разрезной штрек				
5	вертикальная	0,08	-9,0	-12,4
6	вертикальная	0,10	-11,2	-13,3
Гор.+277 м, камера № 219				
7	вертикальная	0,12	-12,6	-16,1
8	вертикальная	0,14	-14,7	-18,2
9	горизонтальная	0,10	-10,5	-13,0
Гор. +277 м, разрезной штрек				
10	вертикальная	0,22	-6,8	-12,5
11	вертикальная	0,10	-11,2	-16,9
Гор.+180 м, орт № 3				
12	вертикальная	0,24	-25,2	-31,5
13	горизонтальная	0,33	-34,6	-29,0
14	вертикальная	0,21	-21,8	-28,1
15	горизонтальная	0,18	-18,9	-25,2
Гор.+180 м, орт № 4				
16	горизонтальная	0,25	-26,2	-24,9
17	вертикальная	0,18	-18,9	-26,8
18	вертикальная	0,07	-7,3	-15,2
19	горизонтальная	0,14	-14,7	-19,8
20	вертикальная	0,12	-12,6	-20,5
21	вертикальная	0,18	-18,9	-26,8
22	горизонтальная	0,14	-14,7	-18,9
Гор.+180 м, орт № 6				
23	вертикальная	0,28	-29,4	-38,0
24	горизонтальная	0,20	-21,0	-26,8
25	вертикальная	0,26	-27,3	-35,9
Гор.+180 м, штрек висячего бока				
26	вертикальная	0,30	-33,4	-42,1
27	вертикальная	0,27	-30,1	-38,8
28	вертикальная	0,22	-24,6	-33,3
29	вертикальная	0,23	-25,8	-34,5
30	горизонтальная	0,12	-13,4	-15,9

Таблица 2

Результаты измерения смещений по реперной линии

Дата замера	Длина линии, мм	Приращение длины, мм	
		абсолютное	относительное
10.09.03	9422,10	0,00	0,00
28.10.03	9422,05	-0,05	-0,05
21.01.04	9421,90	-0,20	-0,15
10.03.04	9422,22	0,12	+0,27
14.04.04	9417,84	-4,26	-4,38
25.05.04	9419,50	-2,60	+2,06
10.06.04	9418,50	-3,60	-1,00
28.09.04	9420,09	-2,01	+1,59
27.10.04	9422,10	0	+2,01
03.03.05	9421,15	-0,95	-0,95
24.05.05	9419,55	-2,55	-1,60
14.07.05	9420,00	-2,10	+0,45
20.09.05	9421,35	-0,75	+1,25
06.12.05	9421,10	-0,90	-0,15

мощности закладочного комплекса. Было принято решение обработать нижележащие горизонты камерно-столбовой системой с вертикальными и наклонными целиками. Для уточнения параметров избранной системы разработки и обеспечения устойчивости целиков были заложены наблюдательные станции, состоящие из глубинных реперов, фотоупругих датчиков, реперных линий. Результаты замеров этих станций представлены в табл. 2 и на рис. 1. Результаты измерений по фотоупругим датчикам и реперной линии показывают, что пригрузка массива, вызванная образованием выработанного пространства, постепенно снижается. Отсутствие деформаций растяжения и низкие значения приращения напряжений, зарегистрированных с помощью фотоупругих датчиков, свидетельствуют об устойчивости дна очистного блока.

Наблюдения за поведением целиков в очистном блоке №2 гор. 180 м. осуществляются с помощью станции автоматического контроля деформаций массива «Массив – П», разработанной НПО «Автоматика» г. Красноярск. При оборудовании станции в ленточном и в ближайшем к нему наклонном целиках было пробурено по одной скважине, и в каждой из них установлены по два глубинных репера. Замеры осуществляются в автоматическом режиме 2 раза в сутки. Результаты замеров представлены на рис. 2-4.

Приведенные на рис. 2, 3 и 4 результаты измерений позволяют утверждать, что за время наблюдений НДС массива в месте расположения контролируемых целиков практически не изменилось. Скачок смещений в феврале 2005 г. связан с бурением в непосредственной близости от установленных реперов технологической скважины. Отсутствие изменений в НДС массива объясняется

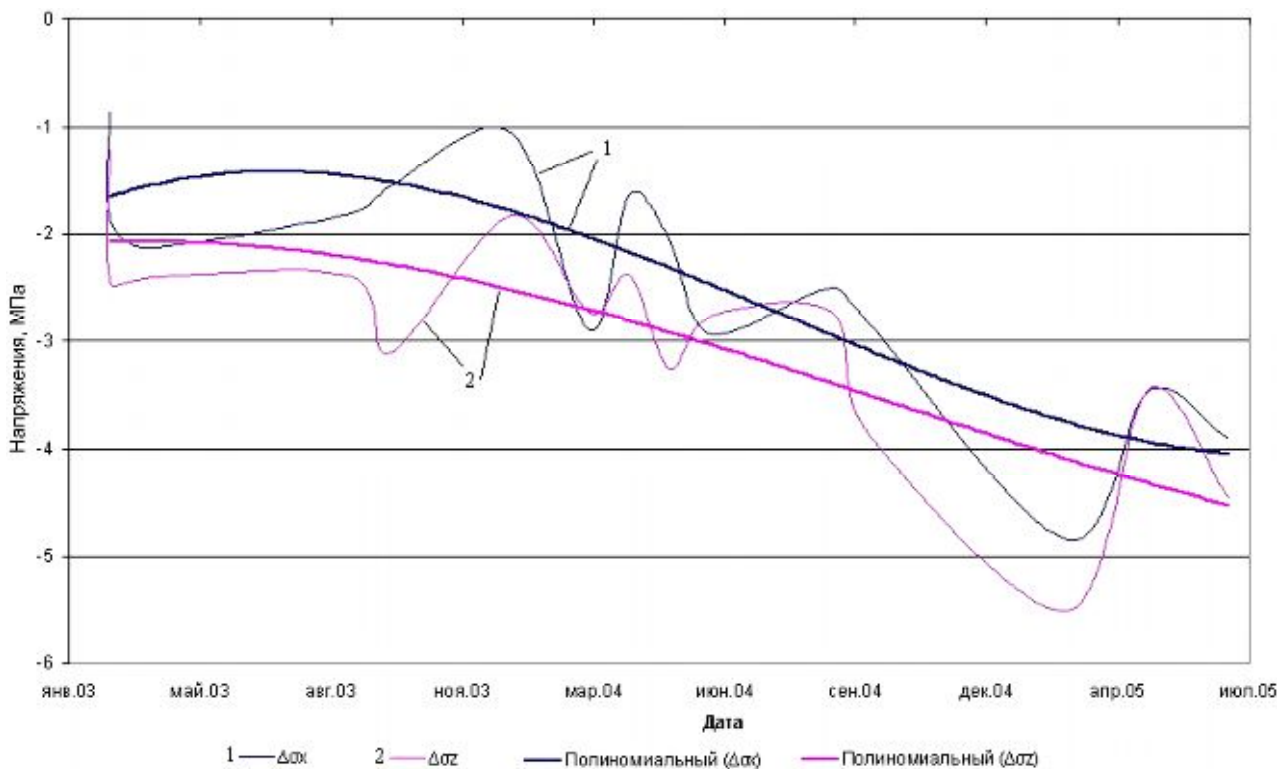


Рис. 1. Изменения приращений напряжений во времени

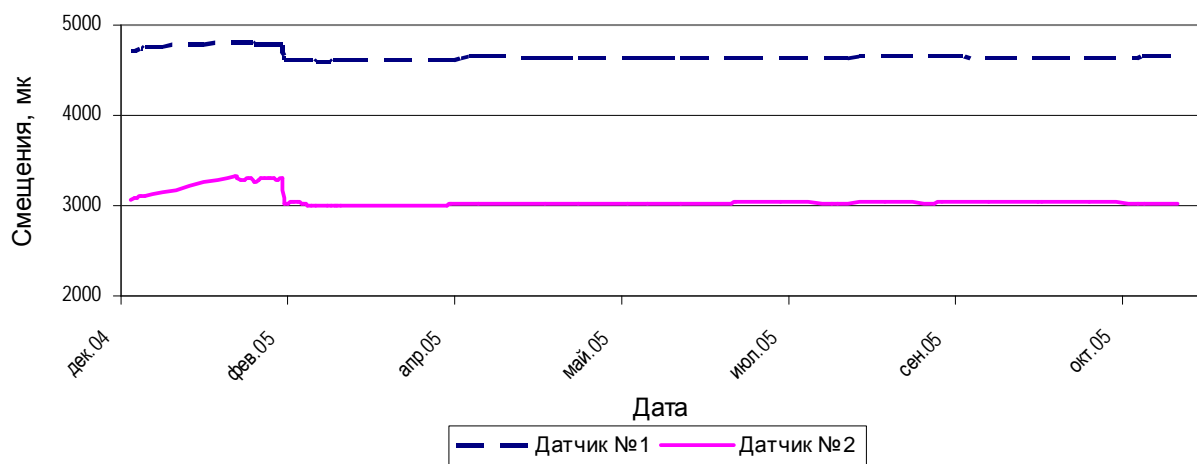


Рис. 2. Графики замеров деформационной станции «Массив II» в вертикальной скважине

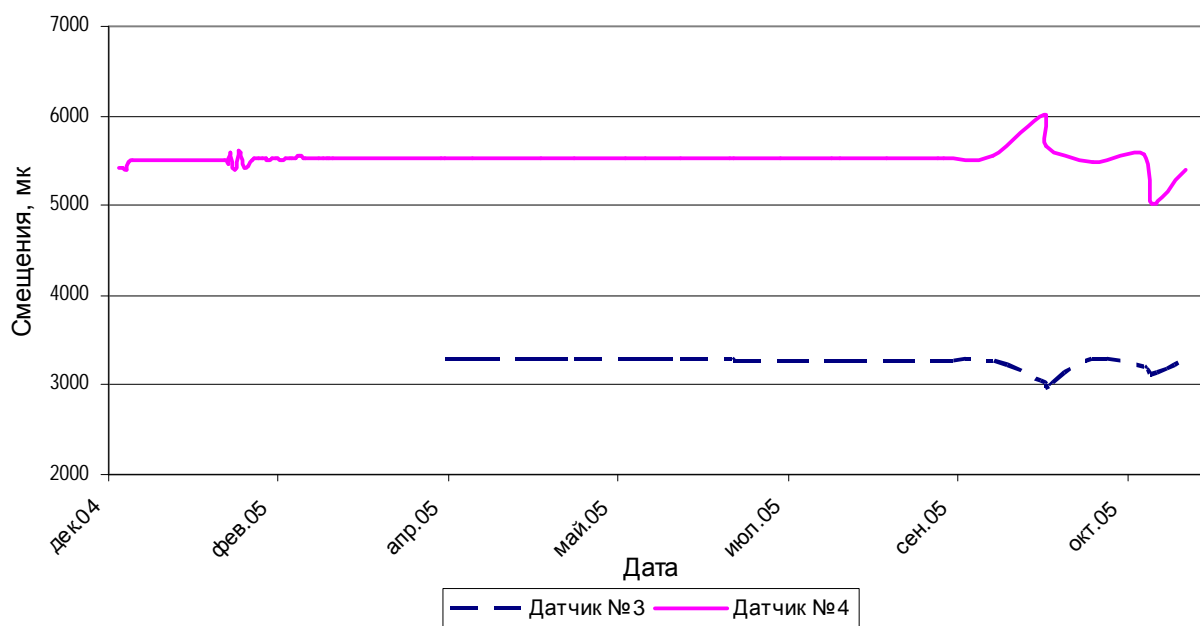


Рис. 3. Графики замеров деформационной станции «Массив II» в наклонной скважине

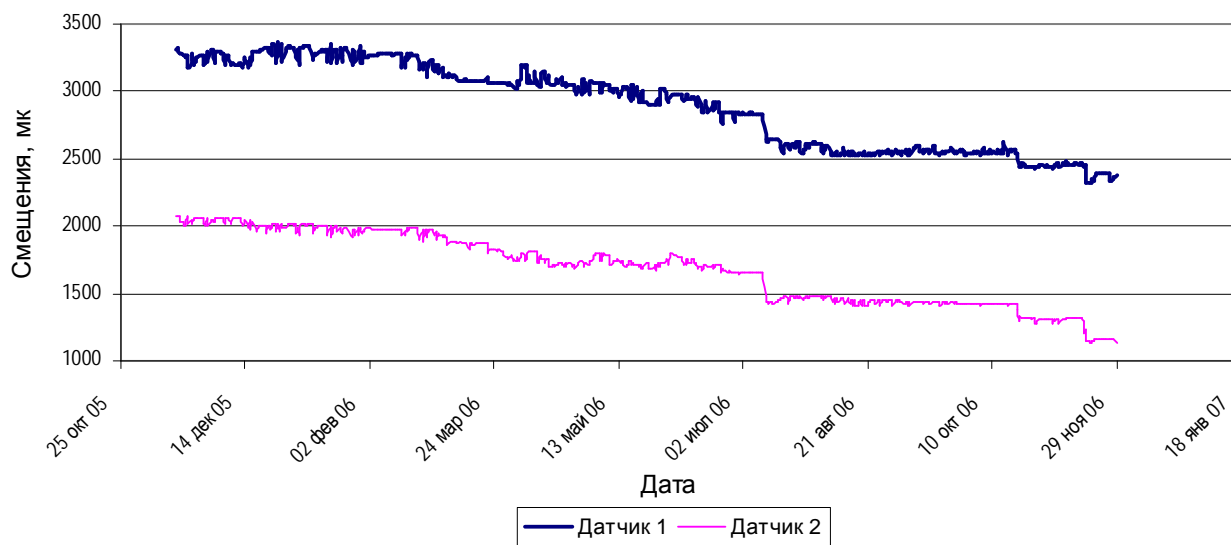


Рис. 4. Графики замеров деформационной станции «Массив II» в вертикальной скважине

тем, что верхняя граница очистных работ находилась ниже отметки верхнего датчика в ленточном целике. Можно утверждать, что установленная система вполне работоспособна: по линии, установленной в наклонном целике, с сентября 2005 г. фиксировались знакопеременные деформации массива. В конце октября 2005 г. произошел вывал реперов, вызванный тем, что наклонная скважина была пробурена не по центру наклонного целика и подсечена обрабатываемым слоем второго очистного блока.

При вскрытии очистного блока №1 были выявлены субвертикальные трещины северного направления, а также так называемые «зеркала скольжения», представляющие собой трещины, заполненные углисто-глинистыми породами. Поэтому для устойчивости очистных выработок дальнейшая отработка блока осуществлялась камерной системой разработки с применением узких ленточных целиков шириной 4 м. Контроль за состоянием целиков осуществлялся с помощью сейсмопрофилирования и электрометрии.

При отработке блока № 2 для устранения негативных последствий влияния «зеркал скольжения» были применены столбчатые наклонные целики с оптимальным углом падения 70°. Однако при отработке горизонтальных нижних слоев в блоке, кроме «зеркал скольжения» северного направления, были выявлены данные нарушения южного направления,

что препятствует дальнейшему применению столбчатых наклонных целиков. Поэтому дальнейшая отработка блока стала осуществляться с применением ленточных целиков шириной 6 м. После их ввода в эксплуатацию устойчивость массива и очистного пространства стабилизировалась. С учетом лабораторных исследований и опыта отработки блоков № 1 и 2 дальнейшую эксплуатацию месторождения решено вести восходящими горизонтальными слоями с оставлением ленточных целиков с сухой закладкой выработанного пространства.

Была проведена оценка влияния закладки на несущую способность столбчатых целиков, в том числе и при наличии зеркал скольжения с южным падением. Где выявилось что:

- Применение наклонных целиков не может гарантировать отсутствие смещений по тектоническим нарушениям.
- Единственными способами предотвращения деформаций по тектоническим нарушениям являются использование ленточных целиков, крепление их приконтурной части и мероприятия по снижению влияния буровзрывных работ на несущую способность целиков.
- Закладка, применяемая на шахте «Магнетитовая», представляет собой мелкий щебень с низким коэффициентом неоднородности и практически не оказывает влияние на несущую способность целиков.

Библиографический список

1. Рекомендации по повышению устойчивости целиков в блоке № 1 шахты Магнетитовая при наличии в них субвертикальных трещин: Отчет о НИР /ИГД УрО РАН; Руководитель работы Шуплецов Ю.П. Екатеринбург, 2001. 15 с.
2. Геомеханическое обеспечение безопасного и эффективного производства горных работ на шахте Магнетитовая: Отчет о НИР /ИГД УрО РАН; Руководитель работы Шуплецов Ю.П. Екатеринбург, 2005. 26 с.
3. Рекомендации по обеспечению устойчивости целика 1–2 в камерах блока № 2 г. +214 м на шахте «Магнетитовая» / ИГД УрО РАН. 2005. 7 с.
4. Рекомендации по обеспечению безопасности отработки запасов блока № 2 выше гор. +222 м на шахте «Магнетитовая» / ИГД УрО РАН, 2005. 16 с.
5. Зотеев В.Г., Зотеев О.В., Зотеева Е.О. Расчетный метод определения нормативных и прочностных показателей физико-механических свойств несвязных грунтов // Водное хозяйство России. 2004. № 5. Т. 6. С. 519–547.
6. Разработка, изготовление и внедрение технологического процесса и оборудования для обогащения магнетитов Саткинского месторождения в тяжелых суспензиях: Отчет о НИР / Уралмеханобр. Свердловск, 1989.
7. Изыскание безопасного и эффективного способа подземной разработки первой очереди ш. «Магнетитовая»: Отчет о НИР / ИГД УрО РАН; Руководитель работы Влох Н.П. Екатеринбург, 1993. 136 с.
8. Расчет параметров камерно-столбовой системы разработки с сухой закладкой для блока № 1 гор. 180 м: Отчет о НИР / ИГД УрО РАН; Руководитель работы Влох Н.П. Екатеринбург, 1998. 66 с.
9. Прочность и деформируемость горных пород /Карташов Ю.М., Матвеев Б.В., Михеев Г.М., Фадеев А.Б. М.: Недра, 1979. 269 с.
10. Зубков А.В. Геомеханика и геотехнология. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 335 с.
11. Исследование, промышленные испытания и корректировка параметров системы разработки на шахте «Магнетитовая»: Отчет о НИР / ИГД УрО РАН; Руководитель работы Влох Н.П. Екатеринбург, 1998. 46 с.
12. Геомеханическое обеспечение безопасных параметров поэтапно-камерной системы при ее опытно-промышленном испытании: Отчет о НИР / ИГД УрО РАН; Руководитель работы Влох Н.П. Екатеринбург, 1997. 31 с.
13. Рекомендации по корректировке параметров камерно-столбовой системы с сухой закладкой при отработке опытного блока 1 шахты «Магнетитовая» / ИГД УрО РАН. 1999. 21 с.
14. Рекомендации по параметрам подземной отработки прибортовых запасов Карагайского карьера выше гор. +180 м / ИГД УрО РАН. Екатеринбург, 1999 г.

МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

УДК 621.74.01:669.13

Брялин М.Ф., Колокольцев В.М., Гольцов А.С.

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОТЛИВОК ИЗ ЖАРОИЗНОСОСТОЙКИХ ХРОМОМАНГАНЦЕВЫХ ЧУГУНОВ

Одной из главных задач машиностроения является повышение надежности и долговечности машин, работающих в сложных условиях эксплуатации.

Для многих из них долговечность и надежность тесно связана с износостойкостью деталей при повышенных температурах. Особенно велико значение эксплуатационной стойкости для деталей агломерационного оборудования, работающего в условиях наиболее интенсивного абразивного и ударо-абразивного износа при повышенных температурах.

Повышающиеся требования к эксплуатационным и служебным характеристикам литейных сплавов заставляют постоянно совершенствовать их состав и технологию производства [1]. От этого зависит увеличение срока службы современного оборудования машин и механизмом. При этом важны не только высокие значения служебных характеристик металла, но и их стабильность. Для увеличения эксплуатационной стойкости сплавов необходимо искать методы повышения механических, специальных и литейных свойств. Основным из таковых является выбор оптимального состава сплава (исключающего термическую обработку, либо делающего режим последней простым), уменьшение загрязненности сплава вредными примесями, получение необходимой структуры сплава.

Ресурс работы колосников марки 75X24ГЛ не стабилен даже в одних и тех же условиях. Комплексное воздействие на структуру известной стали не дало желаемого повышения стойкости колосников грохотов и спекательных тележек аглофабрик, вследствие этого возникла необходимость повышения износостойкости и жаростойкости за счет разработки нового состава сплава.

Перспективными материалами для литых деталей, работающих в сложных условиях изнашивания при повышенных температурах, являются комплексно-легированные белые чугуны.

Анализ результатов работ, проведенных ранее на кафедре ЭМ и ЛП по исследованию жароизносостойких белых чугунов, показал, что наиболее подходящий состав жароизносостойкого хромоманганцевого чугуна имеет следующий химический состав, масс. %: 2,1–2,2 С; 4,5 Mn; 18,0 Cr; 1,2 Ni; 0,5 Ti, до 0,6%. Si. Одновременно были изучены ретроспективы патентного фонда и публикации за последние 20 лет по этому вопросу. Исходя из вышесказанного, дальнейшее повышение жаростойкости (оцениваемое по двум показателям: коэффициенту окислительности Δm , г/м²ч, ростоустойчивости L, %) данной марки чугуна добивались за счет дополнительно его легирования ниобием и алюминием. В исследуемых чугунах на первом этапе содержание Al и Nb варьировали: 1,0; 2,0; 3,0% и 0,3; 0,5; 0,7; 1,0; 2,0; 3,0% соответственно. Был спланирован и проведен полный факторный эксперимент типа 2³ (ПФЭ) при следующем изменении факторов, масс. %: X₁ (титан 0,2; 0,4); X₂ (алюминий 1,0; 2,0); X₃ (ниобий 0,35; 0,7) отраженных в табл. 1. Количество кремния в опытных сплавах находилось на постоянном уровне: Si от 0,8 до 1,0%.

Структуру и свойства сплавов исследовали как в литом состоянии, так и после испытаний на жаростойкость. Структура чугуна ИЧ220Х18Г4Ю2БНТ состоит из феррита и аустенитохромистокарбидной эвтектики (рис. 1).

В структуре чугунов присутствуют карбиды с микротвердостью от 8 до 12,5 ГПа. Гранулометрический анализ включений карбидов проводили на

Таблица 1

Матрица планирования ПФЭ 2³

Номер опыта	Химический состав				Факторы					
	С	Cr	Mn	Ni	Ti	Al	Nb			
1	2,2	18,0	4,2	1,0	+	0,2	-	1,0	-	0,35
2					-	0,4	-	1,0	-	0,35
3					+	0,2	+	2,0	-	0,35
4					-	0,4	+	2,0	-	0,35
5					+	0,2	-	1,0	+	0,7
6					-	0,4	-	1,0	+	0,7
7					+	0,2	+	2,0	+	0,7
8					-	0,4	+	2,0	+	0,7
9					0	0,3	0	1,5	0	0,52

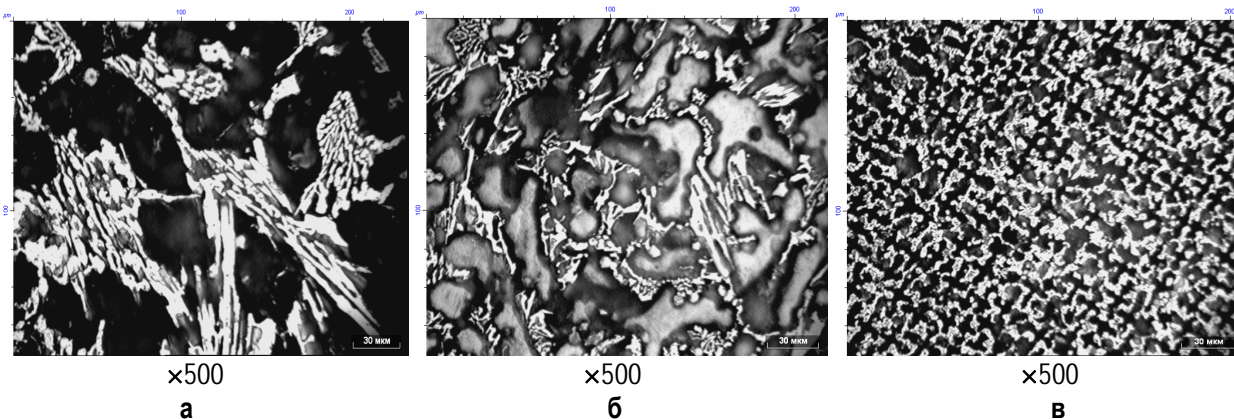


Рис. 1. Микроструктура чугуна ИЧ220Х18Г4Ю2БНТ, залитого в ПГФ сухую (а), ПГФ сырую (б) и кокиль (в)

Таблица 2

Свойства экспериментальных сплавов*

Номер состава	Свойства											
	ПГФ сухая				ПГФ сырая				Кокиль			
	HRC, ед.	Ки, ед.	Δm, г/м ² ч	L, %	HRC, ед.	Ки, ед.	Δm, г/м ² ч	L, %	HRC, ед.	Ки, ед.	Δm, г/м ² ч	
1	42/46,0	3,5/2,1	0,06	0,16	41,4/42,5	3,6/2,0	0,16	0,1	47,5/48,5	3,75/2,6	0,04	
2	43,0/42,0	2,3/1,7	0,078	0,71	40,3/42,0	2,5/2,0	0,06	0,4	46,0/43,0	2,6/2,3	0,038	
3	45,0/48,0	2,6/2,1	0,038	0,12	41,8/45,0	2,8/1,7	0,05	0,12	45,7/49	2,8/2,4	0,033	
4	44,6/47,0	2,2/1,2	0,043	0,04	42,0/44,0	2,5/1,8	0,09	0,03	45,2/47,0	2,8/2,4	0,035	
5	43,0/44,5	2,9/1,8	0,07	0,25	42,2/43,0	3,0/1,6	0,1	0,1	46,0/44,0	3,2/2,5	0,042	
6	43,5/48,0	2,8/1,7	0,085	0,24	43,0/44,7	3,6/1,9	0,18	0,3	45,5/45,5	3,4/2,0	0,035	
7	44,5/47,0	2,4/1,6	0,043	—	43,8/47,0	2,5/1,5	0,09	0,04	46,0/48,0	3,0/2,3	0,028	
8	45,0/47,0	2,5/1,7	0,037	0,07	44,0/46,0	2,8/2,0	0,2	0	47,0/49,5	3,1/2,5	0,018	
0	45,0/47,0	2,4/1,7	0,039	0,09	43,0/45,5	2,8/2,2	0,11	0,09	46,0/47,5	3,0/2,3	0,025	

* В числителе – свойства до испытаний на окалиностойкость, в знаменателе – после испытаний на окалиностойкость.

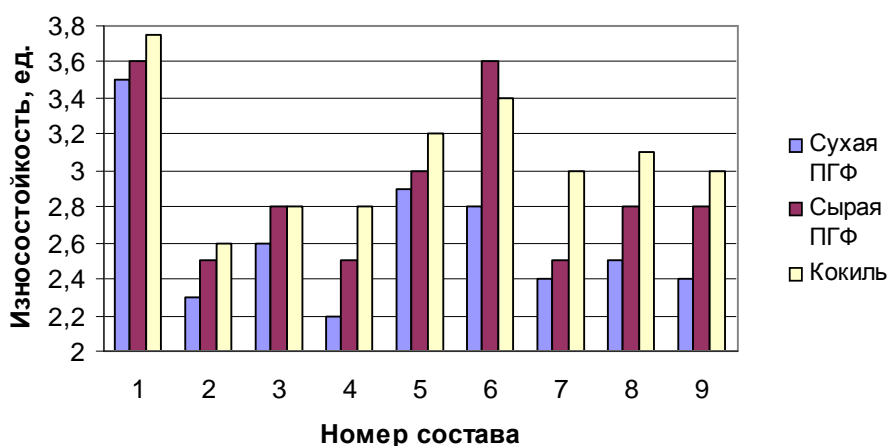


Рис. 2. Влияние химического состава на износостойкость

полированных шлифах без травления с помощью анализатора изображений Thixomet Standard. Свойства экспериментальных сплавов представлены в табл. 2. Как видно из таблицы, прослеживается четкая тенденция изменения показателей твердости (HRC) и износостойкости (Ки, ед.) в зависимости от скорости охлаждения. С увеличением скорости охлаждения происходит измельчение карбидов и эвтектики [2]. Все это приводит к увеличению твердости и износостойкости. Максимальной износостойкостью обладают чугуны, залитые в кокиль, вследствие измельчения карбидов и более равномерного распределения в матрице (рис. 2).

Меньшей износостойкостью обладают чугуны, залитые в сухие песчано-глинистые формы, в них карбиды успевают вырасти до крупных размеров (рис. 3), которые при изнашивании растрескиваются и выкрашиваются.

Можно предположить, что падение окалиностойкости (рис. 4) образцов, залитых в сырую форму, относительно образцов, залитых в сухую форму, связано с тем, что растет доля эвтектики, а следовательно, происходит обеднение твердого раствора хромом [3]. Кроме того, увеличивается межзеренная поверхность, которая обогащается легкоплавкими составляющими и более загрязнена. Все это и

приводит к падению окалиностойкости.

Анализ макроструктуры образцов после испытания на окалиностойкость показал, что чем выше показатель окалиностойкости, тем плотнее окалина и прочнее она связана с основным металлом и, наоборот, чем ниже показатель окали-

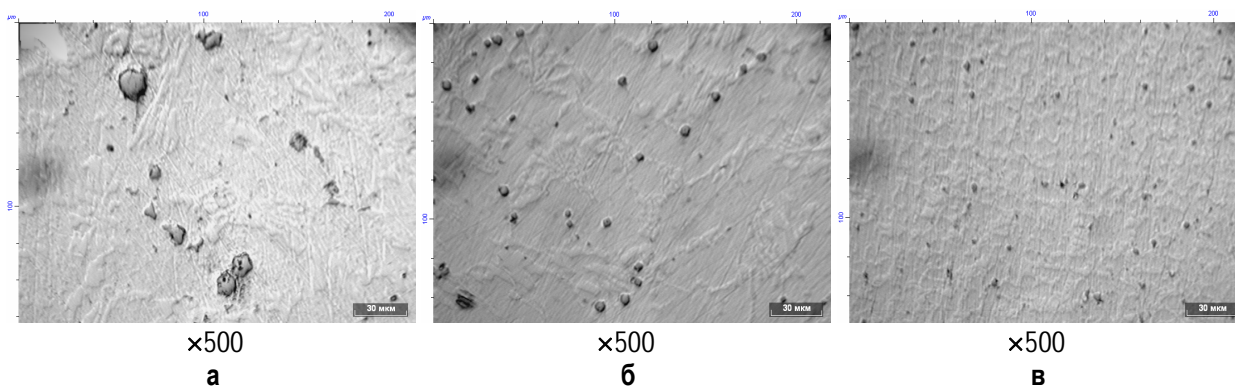


Рис. 3. Микроструктура карбидов чугуна ИЧ220Х18Г4Ю2БНТ, залитого в ПГФ сухую (а), ПГФ сырую (б) и кокиль (в)

ностойкости, тем рыхлее окалина (рис. 5). Рас- трескиваясь и оголяя основной металл, она спо- собствует дальнейшему его разрушению под действием высокой температуры и агрессивной газовой среды.

Очевидно, что чем протяженнее обезуглеро- женный слой, тем ниже показатель окалиностой- кости. Это связано с тем, что в первые часы вы- сокотемпературной выдержки образцов проис- ходит преимущественное окисление углерода.

Металлическая матрица в этот период окис- ляется недостаточно из-за восстановительной атмосферы вблизи карбидов и в полостях с час- тично выгоревшими карбидами. Окислению подвержена преимущественно граница раздела металлической матрицы и карбидов. Уменьше- ние скорости обезуглероживания с изменением химического состава связано главным образом с увеличением содержания связанного углерода. При затухании обезуглероживания металличе- ская матрица окисляется менее интенсивно.

Как показывают проведенные исследования, происходит существенное уменьшение износо- стойкости образцов после проведения испытаний на жаростойкость (рис. 6), при этом наблюдается увеличение твердости. Падение износостойкости связано с ростом микротвердости эвтектики для сухой ПГФ (с 7 до 10 ГПа), сырой ПГФ (с 3,9 до 6,9 ГПа), кокиля (с 3,5 до 3,8 ГПа).

На втором этапе содержание Al и Nb варьиро- вали: 1,0; 2,0; 3,0 и 1,0; 2,0; 3,0% соответственно. Структура чугуна ИЧ220Х18Г4Ю2БНТ состоит из аустенита и аустенитохромистокарбидной эв- тектики розеточного строения. В структуре чугу- нов наряду с карбидами типа M_7C_3 и M_3C , присут- ствуют специальные двойные карбиды TiC-NbC.

Совместное введение Al и Nb обеспечивает исследуемым чугунам высокие показатели изно- состойкости и жаростойкости. Это связано с уве- личением объемной доли карбидов ниобия ($V_{Nb, \%}$), а также микротвердости структурных составляющих. Происходит резкое уменьшение среднего размера карбидов хрома, и они приобретают компактные формы, что обеспечивает хорошее связывание карбидов с металли- ческой основой.

Анализ данных табл. 3 демонстриру- ет увеличение окали- ностойкости более чем на 70% при ну- левой ростоустойчи- вости чугуна марки ИЧ220Х18Г4Ю2БНТ по сравнению с чугу- ном, ранее разрабо- танным на кафедре.

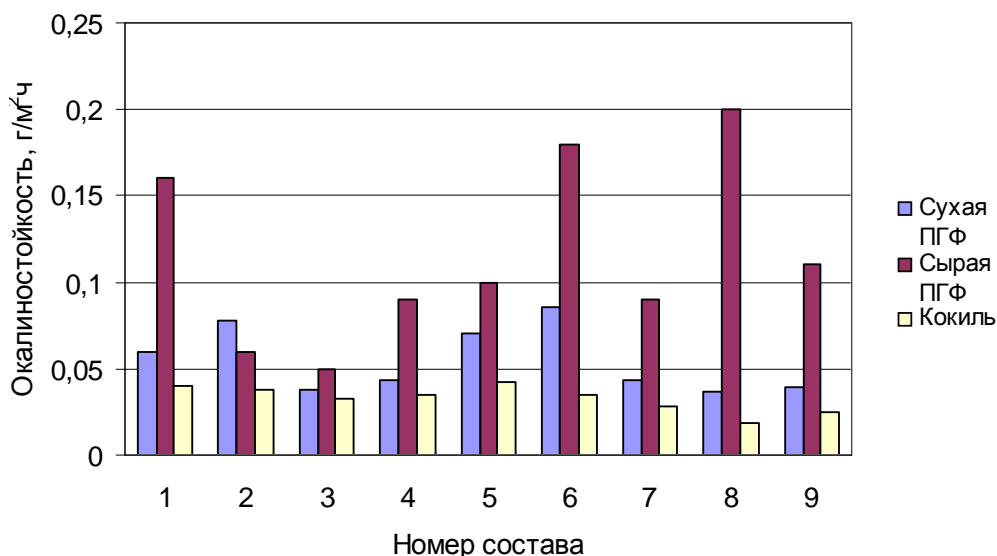


Рис. 4. Влияние состава на окалиностойкость чугуна

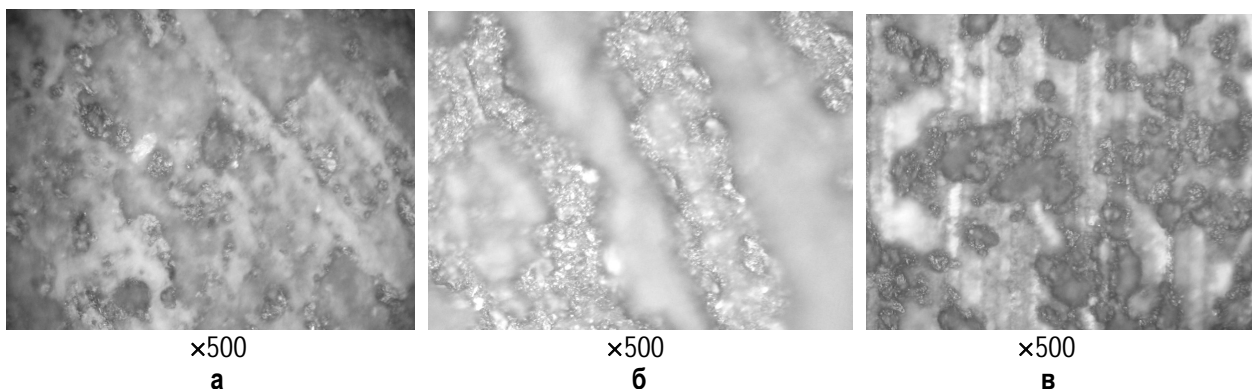


Рис. 5. Макроструктура окалины образца из чугуна ИЧ220Х18Г4Ю2БНТ № 2, залитого в ПГФ сухую (а), ПГФ сырую (б) и кокиль (в)

Меньшая износостойкость стали, по сравнению с чугунами, объясняется тем, что меньшее содержание углерода не обеспечивает образования достаточного количества карбидов и при износе на матрицу переносится большая часть воздействия абразивных частиц, которая к тому же имеет меньшие прочностные характеристики, чем матрица чугунов. Рост стали вызывает нарушение сплошности окалины и, как следствие, дальнейшее окисление стали.

Уменьшение коэффициента окалинотойкости чугуна марки ИЧ220Х18Г4Ю2БНТ объясняется тем, что при нагреве на поверхности сплавов образуется оксидная пленка, имеющая более высокую плотность и более прочное сцепление с металлической основой, чем пленка, образующаяся при эксплуатации чугунов марки ИЧХ28Н2.

При разработке нового состава чугуна была учтена и рассмотрена экономическая сторона. Данные, приведенные в табл. 3, отражают основной фактор в ценообразовании любого вида продукции, его себестоимость. За 2006 г. расход колосников по агломерационному производству ГОП ОАО «ММК» составил 47208 шт. (данные экономической службы аглоцеха). Годовой экономический

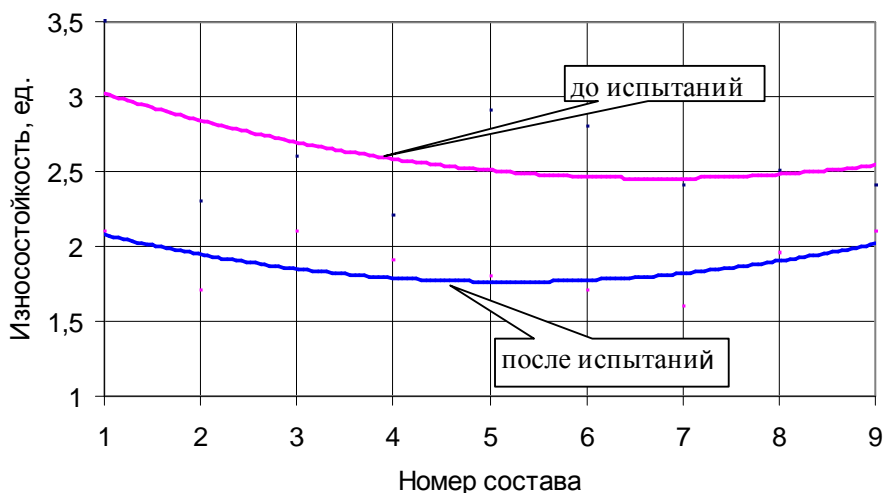


Рис. 6. Влияние состава на износостойкость чугуна залитого в сухую ПГФ до и после проведения испытаний на жаростойкость

Таблица 3

Сплавы для колосников их свойства и себестоимость

Сплав	HRC, ед.	Kи, ед.	Δm, г/м ² ч	L, %	Цеховая себестоимость, руб./т
75Х24ТЛ	21	1,98	0,035	0,53	37957,8
ИЧХ28Н2	50	5,5	0,059	0,34	78548,5
ИЧ220Х18Г4НТ	46	4,4	0,055	0,19	45371,3
ИЧ220Х18Г4Ю2БНТ	45	3,6	0,04	0,09	57085,2
ИЧ220Х18Г4Ю2Б2НТ	46	4,4	0,014	0	67123,4

эффект на стоимости колосников составит при внедрении нового состава сплава – 2,2 млн руб.

Библиографический список

1. Гольдштейн Я.Е., Гольдштейн В.А. Металлургические аспекты повышения долговечности деталей машин. Челябинск: Металл, 1995. 512 с.
2. Жуков А.А., Сильман Г.И., Фрольцов М.С. Износостойкие отливки из комплексно-легированных белых чугунов. М.: Машиностроение, 1984. 104 с.
3. Бобро Ю.Г. Жаростойкие и ростоустойчивые чугуны. М.: Машгиз, 1960. 170 с.

Пиксаев В.А., Ячиков И.М.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИН ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МНЛЗ

В последнее время наметилась устойчивая тенденция по расширению марочного сортамента сталей, разливаемых на отечественных криволинейных МНЛЗ. Актуальна их модернизация, направленная на подавление процесса образования внутренних гнездообразных и перпендикулярных трещин в теле отливаемых заготовок [1, 2].

По принятой исследователями в области ОМД модели деформация металла сопровождается его пластическим разрыхлением, состоящим в первоначальном развитии дислокационной структуры, последующем образовании зародышевых субмикротрещин, их росте и слиянии и, наконец, образованием энергетически устойчивых макротрещин (трещин). Интенсивность данных процессов и конечный результат их развития зависят от термомеханических параметров деформации [3].

Заготовки с минимальным количеством внутренних трещин могут быть получены только на специально созданных для их производства машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Тогда на основании анализа, проведенного с использованием известных математических моделей процесса образования внутренних трещин, можно уже при проектировании машин заложить в их конструкцию то, что должно привести к повышению качества заготовок: достаточно большой базовый радиус, роликковую проводку, секции с оптимальными геометрическими параметрами и т.п. [4–6].

При использовании существующих МНЛЗ количество внутренних трещин в теле заготовок можно уменьшить за счет их модернизации. Наименее затратной может быть модернизация, состоящая в изменении геометрических параметров участка распрямления машин. Изменение, как известно, должно быть направлено на изменение профиля участка в его пределах [7, 8].

В настоящее время для процессов, связанных с пластической деформацией стали, получили распространение деформационные критерии разрушения. Л.Г. Степанский, определяя предельные деформации при прессовании, полагает, что работа пластической деформации элементарного объема не должна превышать некоторое критическое значение. Принятый им энергетический критерий разрушения эквивалентен деформационным критериям [1].

Применим аналогичный критерий для проек-

тирования эффективного, с точки зрения уменьшения количества внутренних трещин, профиля участка распрямления заготовки. Предположим, что уменьшение количества трещин будет иметь место, если плотность потенциальной энергии в распрямляемой заготовке не превысит критического значения для мест с более развитой до начала процесса распрямления дислокационной структурой. Возникновение такой ситуации наиболее вероятно при равномерном распределении плотности по длине участка, исключая наличие максимумов, которые могут оказаться вышеупомянутыми критическими значениями.

Поперечными сечениями, отстоящими друг от друга на расстоянии dl , выделим элементарный объем в теле заготовки на участке ее распрямления. Потенциальная энергия от изгиба затвердевшей части данного объема

$$dE_{pl} = bdl \int_{h/2-\delta}^{h/2} \frac{1}{2} \sigma_y \varepsilon_y dy, \quad (1)$$

где b , h – ширина и толщина заготовки; $\delta_l = (b+h)/4 - \sqrt{[(b+h)/4]^2 - F_l/4}$ – толщина облочка заготовки; $\sigma_y = E_l \varepsilon_y$ – напряжение в слое; $\varepsilon_y = (1/R_l - 1/R_{l+dl})y$ – деформация в слое; F_l – площадь затвердевшей части поперечного сечения; $E_l = -4,566 \cdot 10^{11} + 1,6 \cdot 10^8 T_l + 3,266 \cdot 10^{14} / T_l$ – модуль упругости стали; $R_l = R_r [(1-m) + ml_k / (l_r + l_k - l)]$, $R_{l+dl} = R_r [(1-m) + ml_k / (l_r + l_k - l - dl)]$ – радиусы профиля участка распрямления на границах элементарного объема; y – расстояние до слоя от оси заготовки; T_l – средняя температура затвердевшей части поперечного сечения; R_r – базовый радиус МНЛЗ; m – коэффициент профиля участка распрямления; $l_k = \alpha_s R_r (1-m) / [1 + m \cdot \ln |m| / (1-m)]$ – длина профиля участка распрямления; α_s – угол сопряжения радиального и криволинейного участков [9].

Для определения площади F_l и средней температуры затвердевшей части T_l поперечного сечения была разработана математическая модель затвердевания непрерывно-литой заготовки.

За начало отсчета в декартовой системе координат принят мениск жидкой стали в кристаллизаторе, причем ось z направлена по оси слитка. При разработке модели использовали квазиравновесную теорию двухфазной зоны. За основу модели приняли нелинейное уравнение теплопроводности при граничных условиях второго и третьего рода. При этом распределение температуры в затвердевающей заготовке в системе отсчета, связанной с Землей, описывается стационарным уравнением теплопроводности:

$$c_f \rho v \frac{\partial t}{\partial z} - \rho L v \frac{\partial \psi}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial z} \right), \quad (2)$$

где v – скорость разливки; L – удельная теплота плавления.

Эффективную удельную теплоемкость c_f , коэффициент теплопроводности λ и плотность стали ρ представили кусочно-непрерывными функциями:

$$c_f = \begin{cases} c_g & \text{при } t > t_i; \\ c_t(t_s)\psi + c_g(1-\psi) - L \frac{\partial \psi}{\partial \tau} & \text{при } t_s < t < t_i; \\ c_t(t) & \text{при } t \leq t_s; \end{cases}$$

$$\lambda = \begin{cases} k_\lambda \lambda_g & \text{при } t > t_i; \\ \lambda_t(t_s)\psi + \lambda_g(1-\psi) & \text{при } t_s < t < t_i; \\ \lambda_t(t) & \text{при } t \leq t_s; \end{cases}$$

$$\rho = \begin{cases} \rho_g & \text{при } t > t_i; \\ \rho_t \psi + \rho_g(1-\psi) & \text{при } t_s < t < t_i; \\ \rho_t & \text{при } t \leq t_s, \end{cases}$$

где t_s, t_i – соответственно температура солидуса и ликвидуса; $\psi = (t_i - t)/(t_i - t_s)$ – доля твердой фазы [10]; $k_\lambda = 5 \div 10$ – коэффициент увеличения коэффициента теплопроводности за счет циркуляции жидкой фазы.

Уравнение (2) дополняли краевыми условиями. На расчетную рабочую область накладывали прямоугольную сетку. Применяя симметричную аппроксимацию пространственных производных и метод расщепления по координатам, используя метод конечных

Таблица результатов моделирования для разных марок стали

Марка стали	Площадь затвердевшей части поперечного сечения, м ²	Температура затвердевшей части поперечного сечения, °С
Сталь 25	$F_l = 0,0117 \cdot l + 0,1092$	$T_l = -6,9823 \cdot l + 1275,8$
Сталь 17Г1С	$F_l = 0,01 \cdot l + 0,1293$	$T_l = -7,393 \cdot l + 1341,5$
Сталь 0402Д	$F_l = 0,0116 \cdot l + 0,115$	$T_l = -6,9778 \cdot l + 1279$

разностей, получили систему линейных уравнений, которую решали методом прогонки.

Математическую модель адаптировали к условиям МНЛЗ №4 ККЦ ОАО «ММК». Для каждой зоны вторичного охлаждения коэффициент теплоотдачи определялся по следующему выражению: $\alpha_i = a_i + b_i q_i$, где q_i – удельный расход воды на единицу площади; a_i, b_i – параметры модели для отдельных зон, $i=1, 2, \dots$.

Подбирались параметры a_i, b_i , чтобы имел место 5% уровень значимости теоретически определенной величины температуры поверхности в середине широкой грани малого радиуса при сравнении с величиной аналогичной температуры, определенной экспериментально. Для настройки программы использовались промышленные данные по определению температуры поверхности заготовки (сталь 17Г1С), полученные сотрудниками лаборатории непрерывной разливки ККЦ ОАО «ММК» [11].

Для численной реализации математической модели разработана компьютерная программа [12], которая позволяет рассчитать температурное поле поперечных сечений заготовки в плоскостях пар роликов. При этом учитывается охлаждение стали определенного химического состава в кристаллизаторе и частично затвердевшей заготовки в зоне вторичного охлаждения. Площадь затвердевшей части поперечного сечения заготовки F_l

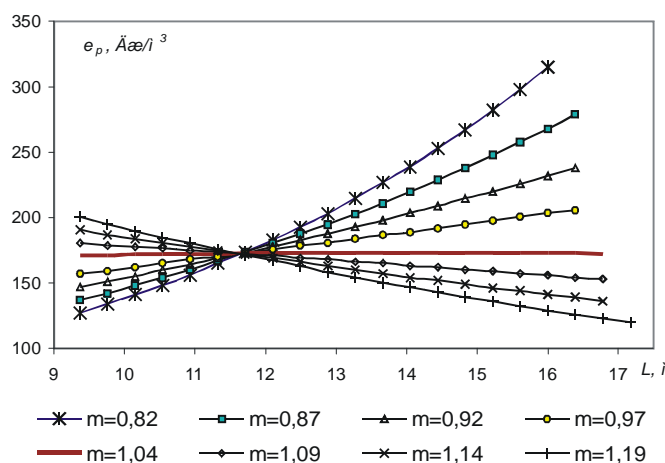


Рис. 1. Распределения плотности потенциальной энергии по длине заготовки, выполненной из стали 25

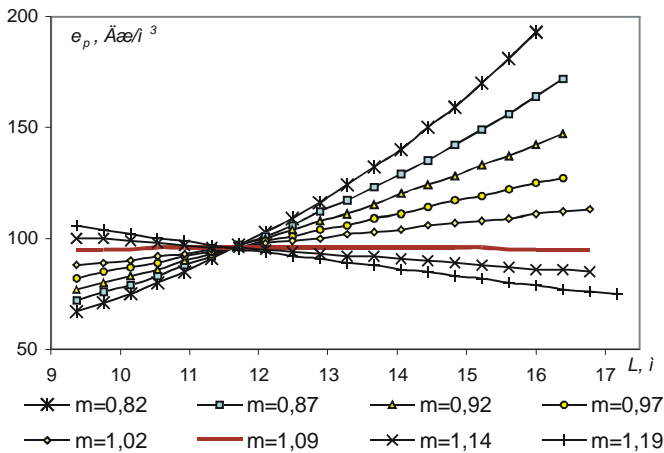


Рис. 2. Распределения плотности потенциальной энергии по длине заготовки, выполненной из стали 17Г1С

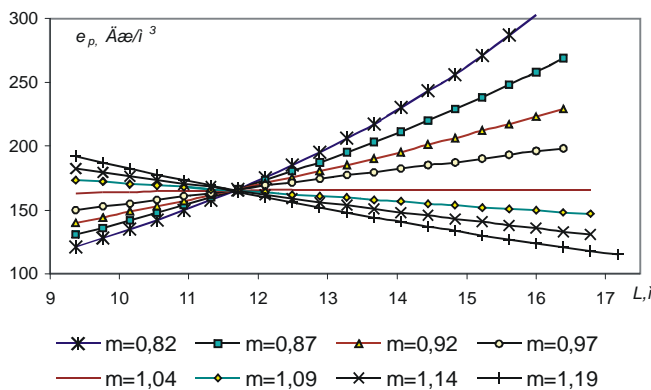


Рис. 3. Распределения плотности потенциальной энергии по длине заготовки, выполненной из стали 0402Д

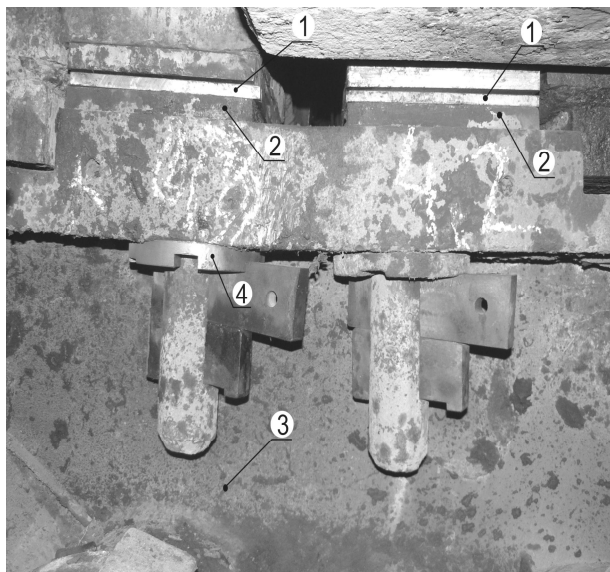


Рис. 4. Установка четырехроликовых блоков

определяется как сумма площадей ячеек, в которых температура равна или ниже температуры солидуса. Температура T_l – как среднеинтегральная температура данных ячеек.

Проведено компьютерное моделирование для заготовок сечением 1350×250 мм, отливаемых со скоростью 0,7 м/мин из сталей, охлаждаемых по различным режимам: 1 группа (сталь 25); 2 группа (сталь 17Г1С); 4 группа (сталь 0402Д) [13].

Результаты моделирования обработаны в виде уравнений регрессии и представлены в таблице.

После необходимых подстановок интегрирования и преобразований получим выражение для плотности потенциальной энергии, при равномерном распределении которой производная от него должна быть равна нулю:

$$de'_{pl} = \frac{bdl}{6F_l} \left(\frac{1}{R_l} - \frac{1}{R_{l+dl}} \right)^2 \times \times E_l \left[3 \left(\frac{h}{2} \right)^2 \delta_l - 3 \left(\frac{h}{2} \right) \delta_l^2 + \delta_l^3 \right] = 0 \quad (6)$$



Рис. 5. Шаблоны и контршаблоны

Аналитическое решение данного уравнения при значительной сложности подстановок (1) трудно осуществимо, поэтому задача решалась численным способом. При этом оказалось достаточным вычислить плотность потенциальной энергии в плоскостях пар правящих роликов для различных профилей участка распрямления, определяемых коэффициентом m . Результаты вычислений представлены графически на рис. 1–3.

Из рисунков видно, что равномерное распределение плотности потенциальной энергии распрямления в заготовках из сталей первой группы (сталь 25) имеет место, если коэффициент профиля $m=1,04$, из сталей второй группы (сталь 17Г1С) – $m=1,09$ и сталей четвертой группы – $m=1,04$.

Полученный для заготовок из сталей второй группы (трубные стали) результат был использован при модернизации МНЛЗ № 4 ОАО «ММК», состоящей в перепрофилировании секций № 7 и 8 участка распрямления машины [14].

Блоки секций были выставлены на новый профиль путем установки подкладок определен-

ной толщины 1 на планки 2 рам 3 секций. Крепление блоков на раме осуществили с использование основных шайб 4 специальной конструкции (рис. 4).

Предварительную выставку секций осуществили с использованием нивелира Н05, а для окончательной выставки роликов и контроля ее точности применяли специально изготовленные шаблоны 1. Для проверки шаблонов использовали контршаблоны 2 (рис. 5).

На модернизированной машине была разлита 1991 плавка сталей различных марок. При анализе парных (82 пары) темплетов от заготовок из сталей трубных марок обнаружено, что количество перпендикулярных и гнездовых внутренних трещин в теле заготовок со стороны малого радиуса уменьшилось почти на 10%.

Таким образом, разработан метод проектирования участка распрямления криволинейной МНЛЗ, обеспечивающего снижение количества внутренних трещин в теле отливаемых заготовок.

Библиографический список

1. Кондратов Л.А. Развитие производства стальных труб в 2002 г. // Сталь. 2003. № 1. С. 81–84.
2. Федорчук Е.В., Мазун А.И., Гладышев Н.Г. Повышение качества трубных заготовок, отливаемых на МНЛЗ // Сталь. 1985. № 4. С. 31–33.
3. Богатов А.А., Мижирицкий О.И., Смирнов С.В. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением. М.: Metallurgia, 1984. 114 с.
4. Оценка предельного состояния металла при разгибе слитка на МНЛЗ без разрушения / А.А. Богатов, С.П. Кротов, Г.Н. Мигачева и др. // Изв. АН СССР. Металлы. 1986. № 6. С. 90–93.
5. Оценка поврежденности непрерывнолитого металла при выпучивании корки слитка между поддерживающими роликами МНЛЗ / А.А. Богатов, С.П. Кротов, Г.Н. Мигачева и др. // Проблемы прочности. 1988. № 3. С. 79–85.
6. Оптимизация конструктивных параметров криволинейных МНЛЗ / С.И. Паршаков, А.А. Богатов, С.П. Кротов и др. // Изв. АН СССР. Металлы. 1991. № 1. С. 66–71.
7. Флендер Р., Вюнненберг К. Образование внутренних трещин в непрерывно литых заготовках // Черные металлы. 1982. № 23. С. 24–32.
8. Исследование непрерывной разливки стали: Пер. с англ. / Под ред. Дж. Б. Лина. М.: Metallurgia, 1982. 200 с.
9. Нисковских В.М., Карлинский С.Е., Беренов А.Д. Машины непрерывного литья слябовых заготовок. М.: Metallurgia, 1991. 272 с.
10. Тепловые процессы при непрерывном литье стали / Ю.А. Самойлович, С.А. Крулевецкий, В.А. Горяинов и др. М.: Metallurgia, 1982. 152 с.
11. Горосткин С.В. Совершенствование режимов вторичного охлаждения слябовых непрерывнолитых заготовок: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / МГТУ. Магнитогорск, 2002.
12. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 7310. Кристаллизующаяся заготовка / В.А. Пиксаев, Е.В. Пиксаев, И.М. Ячиков и др. // Зарегистрировано в НИФНД, № 50200602123.
13. Разливка стали на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) кислородно-конвертерного цеха № 1: Технологическая инструкция ТИ-101-СТ-ККЦ-10-2003 / ЗАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Магнитогорск, 2003. 102 с.
14. Патент на полезную модель 50453 Россия, МКИ В22D 11/14. Машина непрерывного литья заготовок / Ю.А. Бодяев, И.М. Захаров, В.М. Корнеев, В.А. Пиксаев, Е.В. Пиксаев.

Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Усачев М.В., Наливкин А.К., Михальченко Е.С.

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ РЕЖИМАМИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПЕРИОДЫ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЛАВКИ

В современных условиях поточного производства стали на крупных металлургических предприятиях дуговые сталеплавильные печи (ДСП) используются как высокоэффективные технологические агрегаты, предназначенные для расплавления шихты и нагрева полученного расплава до заданной температуры.

Период расплавления шихты составляет более половины продолжительности всей плавки и является практически полностью энергетическим периодом. При этом расходуется от 60 до 80% всей электроэнергии, потребляемой за плавку.

Для расширения сырьевой базы ДСП и увеличения производительности в шихте используется жидкий чугун, доля которого составляет от 20 до 50%, также применяются газокислородные фурмы-горелки, установленные в боковых водоохлаждаемых панелях и обеспечивающие подачу в рабочее пространство до 40% от требуемой для плавки тепловой энергии.

При рассмотрении энергетического режима ДСП как некоторого объекта оптимизации управления оптимизируемой величиной целесообразно использовать электрическую мощность, выделяемую в дуге, P_0 . Управляющими воздействиями

при этом являются степень напряжения печного трансформатора и сила тока дуги, определяемая при принятой степени напряжения длиной дуги или положением электрода фазы относительно металлической шихты или расплава.

Оптимальный энергетический режим при выплавке стали в ДСП обеспечивается определением и поддержанием такого оптимального значения рабочего тока дуги $I_{0\text{ опт}}$, при котором достигается максимально возможная мощность дуги $P_{0\text{ max}}$, что соответствует режиму работы ДСП с максимально возможной часовой производительностью [1, 2].

После периода расплавления шихты следуют технологические периоды (окислительный и частично восстановительный), в течение которых проводят технологические операции окисления углерода, дефосфорации и нагрева расплава.

В технологические периоды электродуговой плавки определяющим является температурный режим рабочего пространства ДСП.

Температурный режим электродуговой плавки характеризуется значительной неустойчивостью.

В результате воздействия открытых электрических дуг, выделения большого количества тепловой энергии от экзотермических

реакций окисления примесей расплава и сжигания газа огнеупорная футеровка рабочего пространства интенсивно разогревается. Это приводит к ее разрушению.

Для количественной оценки воздействия тепловой энергии на температурный режим электроплавки В.Д. Смоляренко [3] предложил использовать два эмпири-

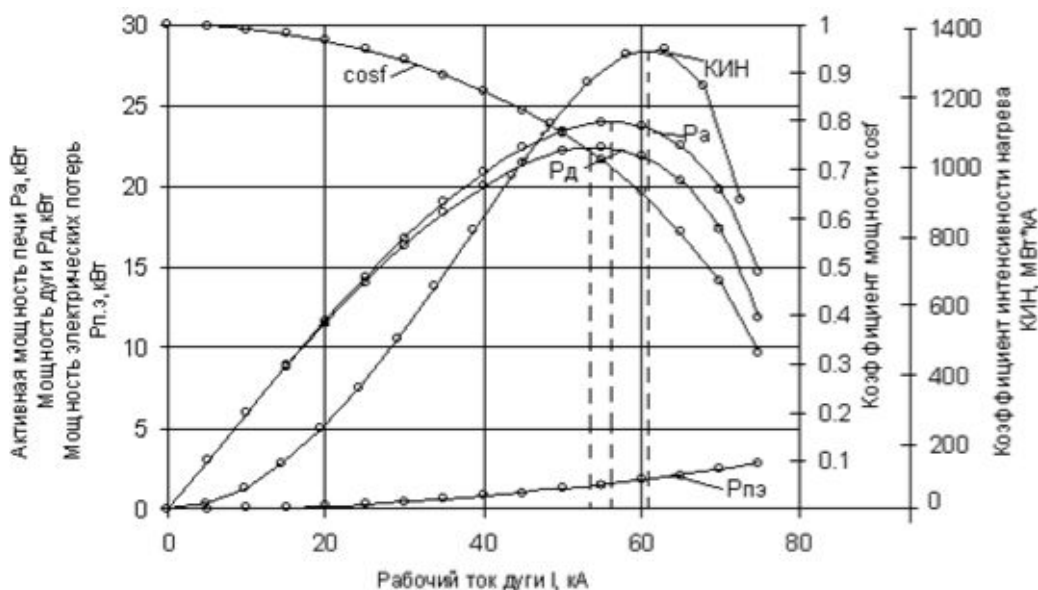


Рис. 1. Расчетные энергетические и электрические статические характеристики режима ДСП-180 ЭСПЦ ОАО «ММК» при $U=1045$ В, $x=3,5$ мОм, $r=0,5$ мОм

ческих показателя:

$KИИ = P_{\partial} \cdot I_{\partial}$ – коэффициент интенсивности нагрева, характеризующий скорость нагрева жидкого расплава;

$KИФ = \frac{P_{\partial} \cdot U_{\partial}}{a^2}$ – коэффициент износа огнеупорной футеровки, характеризующий степень воздействия теплового излучения электрической дуги на огнеупорную футеровку ДСП.

Здесь P_{∂} – мощность дуги; I_{∂} – ток дуги; U_{∂} – напряжение на дуге; a – расстояние от дуги до футеровки.

Электрические и энергетические статические характеристики режима ДСП-180 ЭСПЦ ОАО «ММК» представлены на рис. 1.

Анализ полученных расчетных зависимостей показывает:

- максимальные значения параметров, характеризующих определенные технологические показатели процесса электродуговой плавки не совпадают;
- расплавление основной массы шихты при закрытых дугах целесообразно вести при максимально возможной энергетической мощности, выделяемой в электрических дугах;
- доплавление шихты и нагрев жидкого расплава при обнаженных дугах целесообразно вести в режиме максимума КИИ, если дуги заглублены в специально наведенный пенный шлак, когда их тепловой КПД наибольший [3].

Это означает, что в технологические периоды плавки необходимо корректировать энергетический режим электродуговой плавки по температурным параметрам рабочего пространства ДСП путем ограничения подводимой к ДСП электрической мощности.

Объективными параметрами, однозначно характеризующими температурный режим электродуговой плавки в ДСП, являются температура жидкого металла $t_M(\tau)$ и температура внутренней поверхности огнеупорной кладки печи $t_L(\tau)$.

Расчет корректирующего значения подводимой к ДСП электрической мощности рекомендуется [4] производить в соответствии с выражением:

$$\Delta P = \frac{G \cdot c \cdot (t_M^D - t_M)}{860 \cdot \Delta \tau \cdot \eta}, \quad (1)$$

где G – масса металла в ДСП, кг; c – удельная теплоемкость жидкого металла, Дж/(кг·К); η – постоянный коэффициент усвоения энергии металлом, устанавливаемый по данным [5] или

экспериментально; $\Delta \tau$ – интервал времени, в течение которого текущее значение температуры металла $t_M(\tau)$ должно достичь заданного директивного значения $t_M^D(\tau)$.

Корректирующее значение мощности ΔP можно прибавить, увеличив степень напряжения, или уменьшить, уменьшив степень напряжения, в зависимости от знака отклонения температуры металла t_M от директивного значения t_M^D и интервала времени $\Delta \tau$.

Способ коррекции предусматривает ограничение подводимой электрической мощности при достижении предельно допустимого значения температуры огнеупорной футеровки $t_{\phi}^{max}(\tau)$.

В настоящее время используются два метода измерения температуры жидкой стали:

- измерение температуры, когда термопара устанавливается через отверстие в защитном кожухе после расплавления шихты;
- метод периодического измерения температуры путем погружения термопары в жидкий металл технологическим персоналом или с использованием водоохлаждаемых информационных зондов со сменными блоками.

Метод непрерывного измерения температуры металла требует значительных эксплуатационных затрат и квалифицированного обслуживания.

Метод периодического измерения температуры не обеспечивает непрерывности контроля, да и просто опасен для технологического персонала при использовании термопар погружения.

Для непрерывного измерения температуры жидкого металла предлагается использовать косвенный, адаптированный к условиям ДСП и апробированный в реальных производственных условиях метод [5, 6].

Суть предлагаемого метода заключается в следующем. В кладку рабочего пространства ДСП ниже уровня металла в защитном чехле из огнеупорного материала кладки закладывается многозонная термопара. Чертеж термопары представлен на рис. 2. Термопары выпущены опытной серией на основе кабельных термопар, выпускаемых отечественной компанией «ТЕСЕЙ» (г. Обнинск, Калужская обл.).

Рабочая часть многозонной термопары представляет собой металлический стакан, выполненный из жаропрочной стали 12Х18Н10Т. Внутри стакана расположены пять кабельных термопар градуировки ТНН (нихросил-нисил), рабочие спаи которых размещаются в строго фиксированных точках на расстоянии 20 мм друг

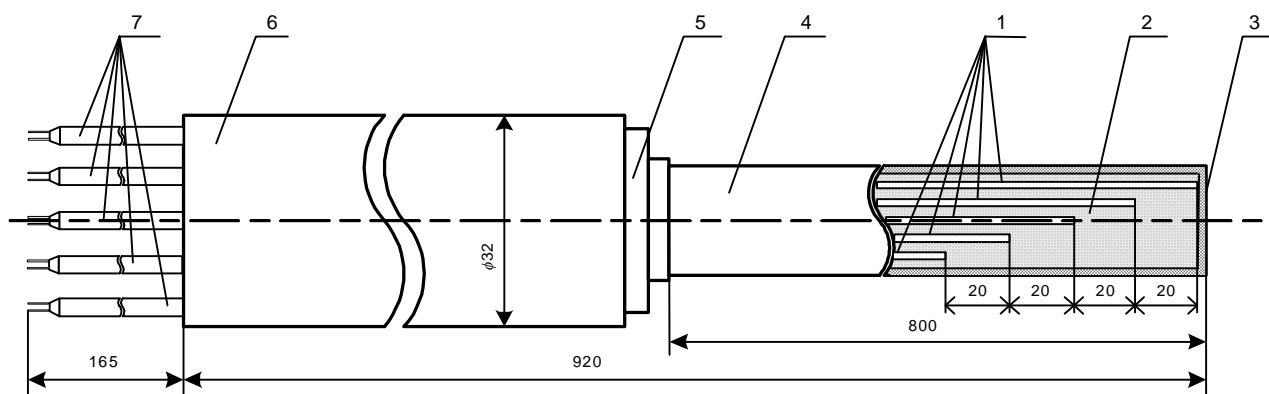


Рис. 2. Рабочий чертеж многозонной термопары:

- 1 – кабельные термопары градуировки ТХА и НН (нихросил – нисил); 2 – засыпка Al_2O_3 ; 3 – крышка рабочей части; 4 – рабочая часть термопары; 5 – место сварки рабочей части и внешнего чехла; 6 – внешний чехол (сталь 12Х18Н10Т); 7 – компенсационный кабель для термопар гр. НН

от друга по длине термопары. Промежутки между термопарами заполнены порошком Al_2O_3 .

Многозонная термопара предназначена для установки в огнеупорную кладку с внешней стороны в районе рабочего окна ДСП. Это обеспечивает доступ к ней для обслуживания или быстрой замены.

Суть используемого метода заключается в решении обратной задачи теплопроводности вариационным способом путем подбора температуры металла на границе раздела «расплавленный металл – огнеупорная футеровка».

При известной температуре окружающей среды сравниваются расчетное распределение температуры по толщине огнеупорной кладки с действительным распределением при варьировании значения $t_M(\tau)$.

Совпадение текущих траекторий расчетного и текущего температурного распределений по толщине огнеупорной кладки позволяет определить (восстановить) действительное значение $t_M(\tau)$ на границе раздела.

Апробирование предложенного метода на реальной 3-х т. ДСП завода «Металлург Маш.» (г. Магнитогорск) позволило получить следующие результаты:

- стойкость термопары соизмерима со стойкостью огнеупорной футеровки печи (24 сут);
- погрешность измерения температуры не превышает $9^\circ C$ по сравнению с разовой термопарой погружения градуировки ТПР.

После определения корректирующей поправки ΔP и соответствующего переключения ступени напряжения оптимальный энергетический режим устанавливается путем определения и

поддержания оптимального значения рабочего тока дуги (положения электрода), соответствующего достижению максимально возможной мощности, выделяемой в дуге. Это соответствует достижению максимально возможной производительности ДСП на установленной ступени напряжения [1, 2].

Учитывая отличительные особенности изменения электрических параметров: высокочастотные возмущения при измерении текущих значений электрических параметров; наличие монотонных возмущений (обгорание электродов, изменение уровня и электропроводности шлака и т.д.); наличие скачкообразных изменений при переключении ступеней напряжения; незначительные инерционность и запаздывание, наиболее подходящим методом поискового режима динамической оптимизации энергетического режима ДСП в технологический период является использование способа формирования рабочего управляющего воздействия (целенаправленного перемещения электрода каждой фазы) по результату интегральной оценки отклика (реакции) оптимизируемого процесса на пробное тестирующее поисковое входное воздействие (перемещение электрода) определенной траектории.

Суть данного метода заключается в следующем. На вход оптимизируемого энергетического режима ДСП, обладающего унимодального (экстремального) вида статической характеристикой $\bar{P}(\tau) = f[I_p(\tau)]$, подается пробное тестирующее поисковое входное воздействие $I_p(\tau) = I_{po} + \psi_n(\tau) \cdot A \cdot \tau$, где I_{po} , $I_p(\tau)$ – начальное и текущее значения рабочего тока дуги; A – амплитуда тестирующего входного воз-

действия; $\Psi_n(\tau) = \prod_{k=1}^{n+1} \text{Sign Sin} \frac{2^k \pi \tau}{T_{II}}$ – ортогональная

сигнум-функция Уолша; n – степень полинома, которым приближенно описывается во времени траектория смещения статической характеристики оптимизируемого процесса; τ – текущее время.

Ортогональная функция $\Psi_n(\tau)$ содержит $m = 2^{n+1}$ равных отрезков времени $\Delta\tau$, определяющих $T_{II} = m \cdot \Delta\tau$, – общую продолжительность поискового входного тестирующего воздействия.

Величина $\Delta\tau \approx 7(T_0 + \tau_3)$, где T_0, τ_3 – постоянные времени, количественно характери-

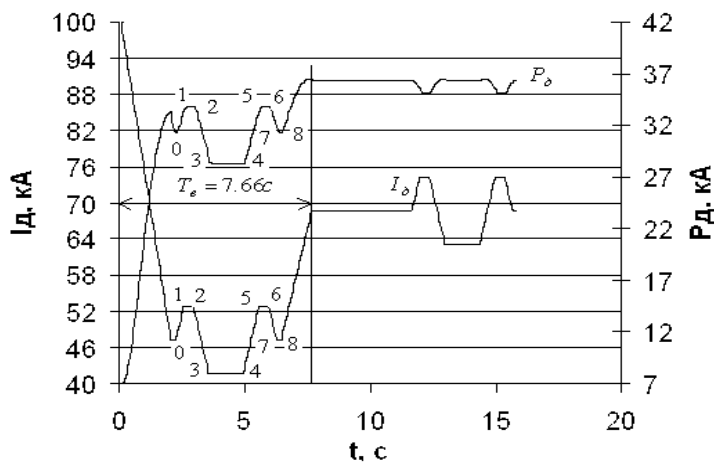


Рис. 3. Расчетные траектории изменения $P_d(\tau)$ и $I_p(\tau)$ во времени в процессе функционирования оптимизирующего алгоритма для $U=1291$ В ДСП-180 ($x=3,5$ мОм; $r=0,5$ мОм)

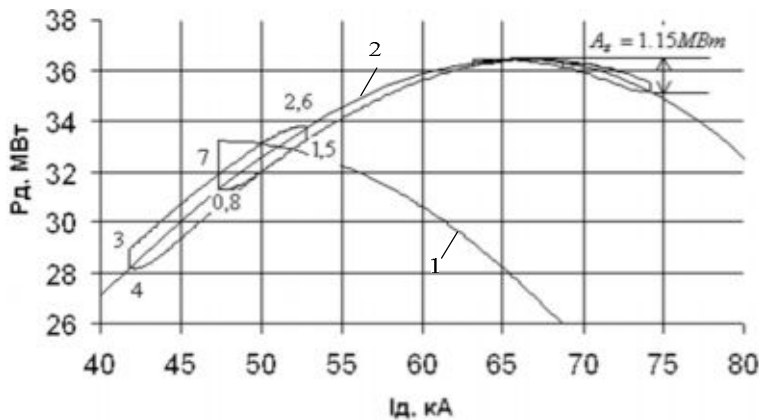


Рис. 4. Траектория поискового режима в процессе функционирования алгоритма оптимизации энергетического режима ДСП-180 в плоскости координат « $I_p - P_d$ »:

- 1 – траектория изменения текущего значения $P_d(\tau) = Y[I_p(\tau)]$;
- 2 – траектория статической рабочей характеристики $\bar{P}_d = Y[I_p]$ для $U=1291$ В ДСП-180 ($x=3,5$ мОм; $r=0,5$ мОм)

зующие величины инерционности и запаздывания оптимизируемого процесса.

Функция $\Psi_n(\tau)$ обладает уникальными свойствами, обеспечивающими возможность полной компенсации негативного влияния дрейфа статической характеристики оптимизируемого процесса на величину интегральной оценки процесса на пробное тестирующее входное воздействие.

Через интервал времени τ_3 после начала поискового воздействия производится интегрирование выходного оптимизируемого параметра $P_d(\tau)$ и определение интегральной оценки в соответствии с условием:

$$J = \beta \int_{\tau_3}^{\tau_3 + T_{II}} \Psi_n(\tau) \cdot P_d(\tau) \cdot d\tau, \text{ при } \tau_3 < \tau \leq T_{II}; \Psi_n(\tau) \in (+1, -1), \quad (2)$$

где β – коэффициент пропорциональности; $P_d(\tau)$ – текущее значение расчетного значения мощности, выделяемой в дуге: $P_d(\tau) = P_A(\tau) - I_p^2(\tau) \cdot r$. Здесь $P_A(\tau)$ – текущее значение контролируемой величины активной мощности; r – активное сопротивление короткой (подводящей цепи).

Знак интегральной оценки J определяет положение начального текущего значения I_{p0} и величину установившегося значения оптимизируемого параметра P_{d0} относительно оптимального значения $I_{p_{opt}}$, при котором обеспечивается максимальное значение мощности дуги $P_d(\tau)_{max}$.

Если $J > 0$, то $I_{p0} < I_{p_{opt}}$, и если $J < 0$, то $I_{p0} > I_{p_{opt}}$.

При условии постоянной скорости перемещения электрода фазы ($K_u = \text{const}$) текущее направление целенаправленного перемещения электрода $\sigma(\tau) \in (+1, 0, -1)$ определяется в соответствии с условием:

$$\sigma(\tau) = \begin{cases} +1 & \text{при } 0 < J > J_H \\ 0 & \text{при } -J_H < J < J_H \\ -1 & \text{при } 0 > J < -J_H \end{cases}, \quad (3)$$

где J_H – заданная зона нечувствительности оптимизируемого алгоритма.

Здесь $\sigma(\tau) = +1$ соответствует направлению перемещения электрода фа-

зы (вниз) для увеличения тока дуги (сокращения длины дуги).

При $\sigma(\tau) = 0$ электрод останавливается в зоне оптимального значения тока на заданное время выдержки $\tau_b = 5 \div 10 T_{II}$ для накопления заметного отклонения текущего режима от оптимального.

При $\sigma(\tau) = -1$ электрод перемещается вверх для уменьшения величины рабочего тока $I_p(\tau)$ (увеличения длины дуги).

Если статическая характеристика энергетического режима ДСП $P_o(\tau) = f[I_p(\tau)]$ при выбранной ступени напряжения питания в окрестности экстремума может быть аппроксимирована параболой (обычно погрешность при этом не превышает 4–5%), то справедливо следующее соотношение:

$$\begin{aligned} J &= K_{II} (I_{OPT} - I_{P0}) = \Delta I \cdot K_{II} = \\ &= K_{II} \cdot \sigma(\tau) \cdot K_{II} \cdot \Delta \tau_p, \end{aligned} \quad (4)$$

где K_{II} – коэффициент пропорциональности, определяемый экспериментально или расчетным путем, являющийся динамическим параметром настройки

оптимизирующего алгоритма, программно реализуемого системой автоматической оптимизации (САО) управления энергетическим режимом.

При известном значении J и постоянной скорости перемещения электрода K_{II} можно определить ориентировочно продолжительность рабочего целенаправленного перемещения электрода для достижения оптимального режима $\Delta \tau_p$:

$$\Delta \tau_p = \frac{J}{K_{II} \sigma(\tau) K_{II}}. \quad (5)$$

Расчетные траектории изменения $P_o(\tau)$ и $I_p(\tau)$ в процессе оптимизирующего поискового режима при функционировании рассматриваемого метода представлены на рис. 3 и 4.

Рассмотренный алгоритм позволяет обеспечить выход с момента зажигания дуги на оптимальный режим за один рабочий цикл.

В зависимости от используемого критерия управления САО способна увеличить производительность печи на 5÷9% при сокращении расхода электродов на 1,4% и при одновременном снижении расхода электроэнергии на 1% [7].

Библиографический список

1. Марков Н.А. Электрические цепи и режимы дуговых электропечей. М.: Энергия, 1975. 130 с.
2. Ефроймович Ю.Е. Оптимальные электрические режимы дуговых сталеплавильных печей. М.: Metallurgizdat, 1956. 98 с.
3. Энерготехнологические особенности процесса электроплавки стали и инновационный характер его развития / Смоляренко В.Д., Девитайкин А.Г., Попов А.Н., Бесчаснова М.А. // Электromеталлургия. 2003. № 12. С. 12–19.
4. Глинков Г.М., Косырев Д.Н., Шевцов Е.К. Контроль и автоматизация металлургических процессов: Учебник для вузов. М.: Metallургия, 1989. 352 с.
5. Информационные системы в металлургии: Учебник для вузов / Спирин Н.А., Ипатов Ю.В., Лобанов В.Н. и др. Екатеринбург: УПИ, 2001. 617 с.
6. Андреев С.М., Ахметов У.Б., Бушманова М.В. Непрерывное измерение температуры жидкого металла в промышленных агрегатах и установках внепечной обработки стали // Энергосбережение, теплоэнергетика и металлургическая теплотехника: Межвуз. сб. науч. тр. Магнитогорск: МГТУ, 2003. С. 53–57.
7. Исследование целесообразности использования системы автоматической оптимизации управления энергетическим режимом ДСП / Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Ишметьев Е.Н., Писаревский Д.А. // Автоматизация технологических и производственных процессов в металлургии: Межвуз. сб. науч. тр. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. С. 87–96.

УДК 669.054.83

Сибгатуллин С.К., Майорова Т.В., Полинов А.А.

О ВЛИЯНИИ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ ГАЗА НА ВЕЛИЧИНУ ЕГО РАБОТЫ В ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

В июле 2007 г. в доменном цехе ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» осуществлялся переход с офлюсованных окатышей ССППО на неофлюсованные. Это происходило при изменении других условий в работе цеха.

В целом по доменному цеху изменения ос-

новных показателей в связи с переходом от офлюсованных окатышей (ОФ) к неофлюсованным (НФ) были следующими (табл. 1).

С учётом сокращения содержания кислорода в дутье прирост удельной производительности по цеху, обусловленный переходом от ОФ к НФ, со-

ставляет 2,24%, а с учётом действия стабилизированного агломерата он оказался равным 1,43%, несмотря на значительное ухудшение качества кокса.

Снижение удельного расхода кокса с учётом влияния стабилизированного агломерата равно 4,8 кг/т чугуна.

В целом по коксохимическому производству показатель М10 при применении офлюсованных окатышей ССГПО составлял 8,81, а неофлюсованных – 8,90%; показатель М25 равнялся 85,46 и 84,71% соответственно. Основность агломерата по CaO/SiO₂ была повышена в среднем с 1,65 до 1,9.

Основные показатели работы доменной печи №1 в режиме перехода к реализации технологии доменной плавки на неофлюсованных окатышах ССГПО представлены в табл. 2.

Удельный расход кокса после полной замены офлюсованных окатышей ССГПО на неофлюсованные уменьшился на 10,1 кг/т чугуна, а всего топлива-восстановителя – на 7,8 кг/т чугуна (см. табл. 2).

Фактическое снижение производительности по сравнению с периодом работы на офлюсованных окатышах составило 1,36%, в то время как ухудшение качества кокса уменьшало её на 2,18%. За счёт применения неофлюсованных окатышей было обеспечено приращение производства чугуна на 0,82%.

Средняя за 30 сут температура колошникового газа, замеренная по газоотводам, уменьшилась на 4 град, а уровень максимальной температуры в них снизился на 3 град. Различие в температурах по газоотводам сократилось с 90 до 79 град:

номер газоотвода	температура по периодам, °С	
	ОФ	НФ
1	311	229
2	310	308
3	225	248
4	221	256

Изменения в температурах колошникового газа свидетельствуют об улучшении тепловой работы печи на неофлюсованных окатышах.

Температура периферийных газов по точкам вверху шахты по периодам составила:

номер сектора по окружности	температура по периодам, °С	
	ОФ	НФ
1	747	733
2	617	596
3	684	735
4	510	574
5	367	525
6	467	556

Средняя температура периферийных газов по периодам составила:

Таблица 1

Основные показатели по доменному цеху

Показатель	ОФ	НФ	Изменение
Удельная производительность, т/м ³	2,261	2,288	+ 1,19%
Расход кокса, кг/т чугуна	449,9	443,3	- 6,6
Расход природного газа, м ³ /т чугуна	100,8	100,8	0
Всего расход топлива-восстановителя, кг/т чугуна	523,5	516,9	- 6,6
Содержание кислорода в дутье, %	26,4	25,9	- 0,5% абс

Таблица 2

Основные показатели работы доменной печи № 1 по периодам

Наименование показателя	Периоды	
	ОФ	НФ
Производительность, т/сут	3526	3478
Удельный расход кокса (сухого, скипового), кг/т чугуна	439,5	429,4
Удельный расход всего топлива, кг/т чугуна	507,4	499,6
в том числе природного газа, м ³ /т чугуна	93,0	96,1
Рудная нагрузка, т/т	3,775	3,789
Простои, % к номинальному времени	1,04	0,29

период	температура, °С
ОФ	566
НФ	620

Температуры в точках 1 и 2 с высокими значениями уменьшились, а в точках 4, 5, 6 с низкими значениями возросли. Интервал изменения температур по окружности снизился с 380 до 210 град, то есть в 1,8 раза.

Более ровная работа печи по окружности на неофлюсованных окатышах способствовала улучшению результатов плавки. Кроме того, интервал температур 525–735°С на неофлюсованных окатышах более благоприятен для службы футеровки, чем 367–747°С на офлюсованных.

Температура по показаниям радиальной балки в периферийной точке 12 по периодам составила: 307 (ОФ) и 231°С. Эти данные свидетельствуют о самопроизвольном повышении загруженности периферии железорудным сырьём с переходом на неофлюсованные окатыши, что также обеспечивает улучшение результатов плавки.

Основные показатели газодинамического режима работы печи по периодам видны из табл. 3.

На неофлюсованных окатышах печь работала достаточно ровно при более высоком общем перепаде давления газа, при более высокой степени уравнивания шихты подъёмной силой газового потока и при повышенном коэффициенте сопротивления шихты движению газов в нижней части печи.

Увеличение общего перепада давления газов составило 6 кПа, степени уравнивания шихты – 1,6% абс. при следующем изменении общего коэффициента сопротивления шихты движению газов, %:

- на колошнике – снижение на 0,4;
- в распаре – рост на 4,3;
- в горне – рост на 1,6.

Верхний перепад давления газов снизился на 2,7% благодаря улучшению газопроницаемости, чему способствовало меньшее разрушение неофлюсованных окатышей при восстановлении. Нижний перепад давления газов увеличился на 5,9% вследствие смещения процессов восстановления к низу печи и в область более высоких температур. Такое смещение является общей закономерностью для развития технологии доменной плавки с улучшением качества железорудного сырья.

Рассмотрели изменение внутренней энергии доменной печи в условиях применения офлюсованных и неофлюсованных окатышей.

Внутренняя энергия системы включает в себя кинетическую энергию поступательного движения частиц, потенциальную энергию вращательного движения частиц, кинетическую и потенциальную энергию колебательного движения атомов в молекулах.

Молекулы идеального газа можно рассматривать как абсолютно упругие шары исчезающего малого размера, поэтому внутренняя энергия иде-

ального газа есть кинетическая энергия беспорядочного движения молекул.

Внутренняя энергия системы является функцией состояния и полностью определяется параметрами состояния системы (в частности, температурой) и не зависит от пути процесса перехода системы из начального состояния в конечное.

Энергия дутья и подводимое тепло обеспечивают протекание процессов в доменной печи, вызывают изменение внутренней энергии системы и совершение работы.

В зависимости от характера процесса изменения внутренней энергии системы может быть разное соотношение между теплом и работой, которые в отличие от внутренней энергии не являются функциями состояния системы и зависят от пути процесса.

Действительно, движущиеся газы совершают работу, преодолевая сопротивление столба шихты, и чем больше сопротивление, тем больше величина работы, совершаемой системой.

Считая, что газы в доменной печи подчиняются законом для идеального газа [1], на основании первого начала термодинамики для бесконечно малого количества тепла запишем:

$$dq = dU + dA,$$

где dq – бесконечно малое количество тепла; dU – бесконечно малое изменение внутренней энергии; dA – бесконечно малая работа.

Учитывая, что система совершает работу только против внешнего давления, запишем [2]

$$dA = PdV, \text{ тогда} \\ dq = dU + PdV. \tag{1}$$

Работа равновесного изобарического расширения или сжатия идеального газа при изменении объема от V_1 до V_2 равна

$$A = \int_{V_1}^{V_2} PdV,$$

где P – внешнее давление.

В этом случае поступающее тепло полностью расходуется на совершение работы.

С помощью уравнения состояния идеального газа выразим давление через объем и температуру

$$A = \int_{V_1}^{V_2} PdV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV = nRT \ln \frac{V_2}{V_1},$$

с учетом того, что

$$P_1V_1 = P_2V_2,$$

Таблица 3

Показатели газодинамического режима печи по периодам

Наименование показателя	Периоды		
	ОФ	НФ	
Общий перепад давления газа, кПа	116	122	
Степень уравнивания шихты подъёмной силой газового потока, %	45,9	47,5	
Скорость газа на пустое сечение печи в рабочих условиях по температуре и давлению, м ³ /с:	на колошнике	1,76	1,85
	в распаре	1,54	1,57
	в горне	2,40	2,43
Динамический напор газа на пустое сечение печи в рабочих условиях по температуре и давлению, н/м ² :	на колошнике	2,33	2,49
	в распаре	0,96	0,97
	в горне	1,24	1,30
Коэффициент сопротивления шихты движению газа:	на колошнике	1113	1108
	в распаре	11730	12237
	в горне	6640	6745

Таблица 4

Работа изменения параметров состояния газов в доменной печи

Вид работы в доменной печи	Работа, МДж/т чугуна		%	
	ОФ	НФ	ОФ	НФ
1. Образование СО при горении углерода кокса	194,86	192,58	16,85	16,20
2. Образование СО и Н ₂ при горении природного газа	239,61	233,05	20,72	19,60
3. Образование СО при прямом восстановлении железа	70,62	62,34	6,11	5,24
4. Образование СО при восстановлении примесей чугуна	9,35	10,36	0,81	0,87
5. Переход кислорода из шихтовых материалов в газ	134,67	138,60	11,65	11,66
6. Переход летучих кокса в газ	11,62	11,62	1,00	0,97
7. Работа, соответствующая снижению давления природного газа, поступающего в поток дутья	7,35	7,25	0,64	0,61
8. Работа всего газового потока при движении через слой шихтовых материалов	488,21	533,21	42,22	44,85
Всего:	1156,29	1189,01	100	100

окончательно работу идеального газа без химических и иных превращений, сопровождающихся изменением внутренней энергии, определим по формуле

$$A = nRT \ln \frac{P_1}{P_2}, \quad (2)$$

где n – количество молей; R – газовая постоянная. В результате протекания большинства реакций в доменной печи (горение кокса и природного газа, восстановление железа) происходит изменение количества газообразных веществ.

Работу образующихся газов определим по формуле

$$A = (n_2 - n_1)Rd\tau = \Delta nRT_1 + \Delta nR(T_2 - T_1), \quad (3)$$

где n_1, n_2 – число молей газообразных веществ в начале и в конце процесса; T_1, T_2 – соответственно температура твердых и газообразных компонентов.

Оценили работу изменения параметров состояния газов в доменной печи при переходе с офлюсованных окатышей на неофлюсованные. Сравнимые периоды имеют длительность по 30 сут.

Полученные результаты представлены в табл. 4.

Таким образом, основными видами являются: работа, совершаемая в результате образования газов при горении кокса и природного газа; работа всего газового потока при движении через слой шихтовых материалов.

В период работы доменной печи на неофлюсованных окатышах величина работы газов, образующихся при горении кокса и природного

газа, уменьшилась на 8,84 МДж/т чугуна (2,03%), что говорит о более эффективном использовании топлива-восстановителя.

Работа газового потока при движении через слой шихтовых материалов в этот период увеличилась на 45 МДж/т чугуна (9,21%), следовательно, более эффективно используется его тепло для процессов восстановления.

Библиографический список

1. Цымбал В. П. Математическое моделирование металлургических процессов. М.: Металлургия, 1986. 240 с.
2. Андрущенко А. И. Основы технической термодинамики реальных процессов. М.: Высш. шк., 1975. 264 с.
3. Евстигнеев В. Л., Почвайтис В. С. Учет затрат тепла на газообразование в закрытой системе при составлении теплового баланса доменной плавки // Сталь. 2004. № 4. С. 18–19.

УДК 621.746.5.047:669.14.063.8:537.86

Великий А.Б., Казаков А.С., Филиппова В.П., Алексеев А.Г.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И ХИМИЧЕСКУЮ НЕОДНОРОДНОСТЬ СОРТОВОЙ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ

В настоящее время электромагнитное перемешивание (ЭМП) жидкого металла на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) является неотъемлемой частью прогрессивной технологии получения высококачественного металла. Наибо-

лее широко устройства для ЭМП применяются на сортовых МНЛЗ, что объясняется меньшими размерами поперечного сечения отливаемой заготовки. Эти устройства могут размещаться в различных частях машины в зависимости от решаемых

задач. ЭМП способствует уменьшению ширины зоны столбчатых кристаллов и расширению зоны неориентированных кристаллов, снижению химической неоднородности заготовки, очищению металла от неметаллических включений и растворенных в жидкой стали газов. Положительное воздействие этой системы достигается в результате создания с помощью электромагнитных сил вынужденной циркуляции жидкого металла. Это улучшает теплообмен между жидкой и твердой фазами, вследствие чего снижается перегрев металла перед фронтом кристаллизации. При этом ухудшаются условия для роста столбчатых кристаллов, вызывающих анизотропию свойств затвердевшего металла. Кроме того, циркуляционные потоки жидкого металла обламывают выступающие вершины и ветви столбчатых кристаллов, способствуя образованию дополнительных центров кристаллизации неориентированных, так называемых полиэдрических, кристаллов. Также улучшаются условия для всплывания неметаллических включений и удаления из заготовки растворенных в жидком металле газов.

Из многочисленных исследований известно, что интенсивность электромагнитного перемеши-

вания обычно характеризуется скоростью вихревого потока жидкого металла. Количественно эта скорость определяется моментом вращения потока под воздействием электромагнитного поля. В работе [1] говорится о том, что момент вращения потока зависит как от параметров магнитного поля, так и от размеров устройства перемешивания. При использовании любого устройства с конкретными неизменными размерами с целью варьирования интенсивности перемешивания металла необходимо изменять параметры магнитного поля. Такими параметрами являются частота и сила применяемого в устройстве тока. Для каждого кристаллизатора существует оптимальная частота тока, при которой жидкой стали передается максимальный момент вращения. В настоящей работе рассматривается влияние основных регулируемых параметров процесса ЭМП на структуру и химическую неоднородность сортовой заготовки.

В условиях ЭСПЦ ОАО «ММК» непрерывная разливка стали для получения сортовых непрерывнолитых заготовок производится на двух МНЛЗ, разработанных и поставленных фирмой «VAI». Эти машины являются радиальными с базовым радиусом 9 м и имеют по пять ручьёв. Проектная годовая производительность каждой МНЛЗ составляет 1 млн т заготовки. В основном отливаются непрерывнолитые заготовки с размерами поперечного сечения 150×150 мм. Гильзовый многоконусный кристаллизатор «Diamold» имеет длину 900 мм. Непрерывная разливка стали осуществляется по двум базовым режимам: открытой и закрытой струями. Открытой струей разливаются стали с содержанием растворённого алюминия не более 0,006%. При большем содержании алюминия разливка производится закрытой струей. Одинаковым для обоих режимов разливки является использование защитных труб на участке сталеразливочный – промежуточный

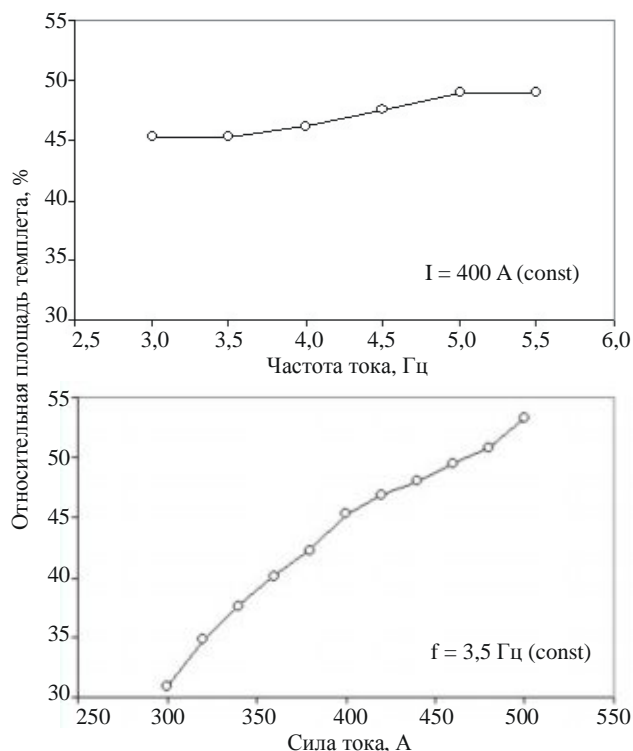


Рис. 1. Зависимость относительной площади поперечного темплетта заготовки с размерами 150×150 мм, занимаемой полиэдрическими кристаллами, от частоты тока (вверху) и силы тока (внизу) в устройстве ЭМП

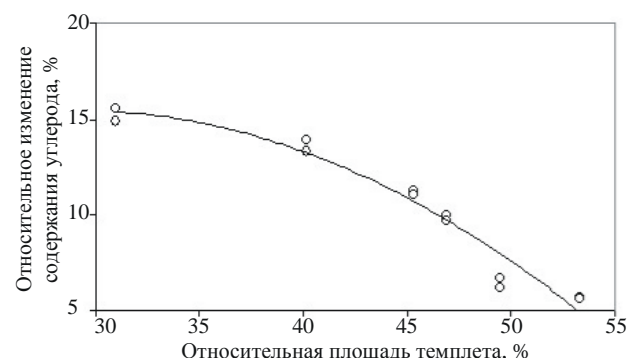


Рис. 2. Зависимость относительного изменения содержания углерода в металле от относительной площади темплетта, занимаемой полиэдрическими кристаллами

ковши и теплоизолирующих смесей в промежуточном ковше. В настоящее время большая часть металла разливается открытой струёй. В этом режиме дозирующими элементами металлической проводки являются постоянные верхние и сменные нижние циркониевые стаканы марки "Justal" с внутренними каналами диаметром 15...20 мм. Смена стаканов осуществляется при помощи специальных механизмов быстрой замены CNC фирмы "Vesuvius". Для смазки в кристаллизатор через кольцевой зазор подаётся растительное (рафинированное рапсовое) или синтетическое масло фирм "Mobil" или "Shell". Кристаллизатор одной из машин (МНЛЗ № 2) оборудован устройством электромагнитного перемешивания жидкого металла фирмы "ABB Automation Systems" [2]. Данное устройство представляет собой укороченную катушку, расположенную с внешней стороны нижней части кристаллизатора. Частота питающего тока равняется 3...5 Гц. Напряжение составляет 500 В, а средняя сила тока – 500 А. Устройство обладает кажущейся мощностью 433 кВА.

При выборе данной конструкции учитывались следующие положительные свойства данного типа ЭМП:

- меньшая на 25% стоимость устройства по сравнению с двухкатушечным вариантом;
- совместимость с существующей конструкцией кристаллизаторов фирмы «VAI», так как использование двухкатушечного устройства исключило бы возможность применения радиоактивного датчика для поддержания уровня металла в кристаллизаторе;
- простота в обслуживании и эксплуатации.

С целью изучения влияния параметров ЭМП на процесс формирования кристаллических зон заготовки и развитие химической неоднородности металла были проведены исследования при непрерывной разливке стали с содержанием углерода 0,65...0,90%. Разливка стали осуществлялась открытой струёй на заготовки с размерами поперечного сечения 150×150 мм. В ходе исследований варьировались частота тока в диапазоне 3,0...5,5 Гц при постоянной величине силы тока, равной 400 А, а также сила питающего устройства тока в интервале 300...500 А при постоянной частоте тока, составлявшей 3,5 Гц. Из отлитых заготовок вырезались поперечные темплеты, на поверхности которых после соответствующей обработки оценивалась относительная площадь, занимаемая полиэдрическими кристаллами. Результаты влияния частоты и силы тока в устройстве ЭМП на относительную площадь поперечного темплета сорто-

вой заготовки, занимаемую полиэдрическими кристаллами, представлены на рис. 1.

Сравнительный анализ данных, приведенных на этом рисунке, показывает, что в рассмотренных диапазонах изменения двух параметров на размеры зоны полиэдрических кристаллов существенно сильнее (примерно в 6 раз) влияет сила питающего тока. Так, при увеличении силы тока размеры этой зоны возросли на 22,3% (с 31,0 до 53,3%), а при увеличении частоты тока – лишь на 3,7% (с 45,3 до 49,0%).

Из верхней части рис. 1 видно, что при постоянной величине силы тока зона полиэдрических кристаллов имеет максимальную площадь при частоте тока 5 Гц. Дальнейшее увеличение частоты тока, питающего устройство ЭМП, не вызывает изменения этой площади. Это, очевидно, свидетельствует о том, что такая частота тока является наиболее рациональной для данного типа устройства.

Расширение зоны полиэдрических кристаллов способствует уменьшению ликвации примесей, растворённых в металле. Это показано на примере изменения содержания углерода в металле на поверхности поперечного темплета из сортовой заготовки. Так, на рис. 2 приведена зависимость относительного изменения содержания углерода от размеров зоны полиэдрических кристаллов.

Относительное изменение содержания углерода подсчитывалось, как отношение разности между максимальным и минимальным содержанием элемента в металле на поверхности поперечного темплета к исходному содержанию элемента в ковшевой пробе, выраженное в процентах.

Зависимость относительного изменения содержания углерода ($\Delta[C]$, %) от относительной площади темплета, занимаемой полиэдрическими кристаллами, (ΔS , %) выражается в виде уравнения

$$\Delta[C] = -0,018\Delta S^2 + 1,038\Delta S + 0,41, \quad \eta = 0,976.$$

Сравнение вычисленного значения t-критерия, равного 0,150, с его критической величиной $t_{0,05}=2,074$ при $F=1,01$ и $F_{0,05}=2,82$ свидетельствует о статистической значимости полученной зависимости.

Таким образом, при ЭМП жидкого металла в нижней части кристаллизатора сортовой МНЛЗ удаётся увеличить размеры зоны полиэдрических кристаллов и уменьшить химическую неоднородность отливаемой заготовки. Наиболее сильное влияние на размеры этой зоны оказывает сила тока, питающего устройство для ЭМП. Выявлена рациональная величина частоты тока для данного типа устройства.

Библиографический список

1. Beitelman L. Effect of mold EMS design on billet casting productivity and product quality //Canadian Metallurgical Quarterly. 1999. № 5. P. 301–309.
2. Влияние электромагнитного перемешивания на качество макроструктуры и поверхности непрерывнолитых заготовок производства МЦ ОАО "ММК"/ Казаков А.С., Суспицин В.Г., Зимица Л.А., Ушаков С.Н. // Совершенствование технологии в ОАО "ММК": Сб. трудов Центральной лаборатории ОАО "ММК". Вып. 9. Магнитогорск: Дом печати, 2005. С. 95–98.

УДК 621.771

Сычков А.Б.

НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Качественные параметры высокоуглеродистой катанки нормируются в нормативной документации (НД) и требованиями потребителей. К этим параметрам можно отнести химический состав стали, дефектность поверхности, степень обезуглероживания, чистоту стали по неметаллическим включениям (НВ), макро- и микроструктуры, механические характеристики и т.п. [1–5]. Однако имеется ряд проблем, которые следует разрешить, чтобы повысить, в целом, комплекс свойств катанки и технологичность её переработки на метизном переделе. Одной из этих проблем является чистота стали по НВ, повышение которой способствует улучшению исходной пластичности катанки и деформируемости её при волочении в проволоку и при свивке в пряди, канатные конструкции и металлокорд [6–11].

В процессе освоения высокоуглеродистой катанки наблюдалось устойчивое и монотонное снижение загрязненности стали НВ. Однако в последнее время наблюдается обратная картина: постепенно повышаются параметры, связанные с увеличением загрязненности стали НВ. Это, по видимому, обусловлено неэффективной технологией вакуумирования стали: применением так называемой обратной схемы. Эта схема предусматривает вакуумирование стали на вакууматоре камерного типа (VD), обработку стали на установке ковш-печь (УКП). Когда вакуумирование металла проводится до его выпечной обработки на УКП, металл может получить НВ из материалов, присаживаемых после вакууматора на УКП. Не отлажена также и технология с применением полностью магнезиальных сталеразливочных ковшей (СК), а склонность при разливке к затягиванию ручьев алюминийсодержащими настывшими предопределяет значительный перегрев стали над расчетной температурой ликвидус, что формирует развитую дендритную ли-

квационную макроструктуру НЛЗ и способствует увеличению загрязненности стали НВ.

С целью повышения чистоты высокоуглеродистой стали по НВ и выработки критериев предельно допустимой загрязненности металла было проведено несколько мероприятий. К ним относятся применение полностью магнезиальных кирпичных сталеразливочных ковшей, в том числе и днища СК (плавка 1, сталь марки С82D), обработка стали на сливе из ДСП в СК белыми, синтетическими шлаками (плавки 2 и 3, сталь 80КРД), модифицирование НВ смешанной лигатурой, содержащей кальций и редкоземельные металлы (серия плавов 4...11, сталь марки С82D – опытные и контрольные плавки).

Применение полностью магнезиального СК

Неметаллические включения в НЛЗ (плавка 1) количественно оценивались на кованых пробах от 6-ти темплетов, отобранных от каждого ручья МНЛЗ, по ГОСТ 1778, метод Л1. Следует отметить, что во всех образцах подавляющее большинство НВ (97...98.7% оксидов и 91.5...99.2% сульфидов) имеют размеры 0...5.6 мкм (1-я группа НВ по методу Л1 ГОСТ 1778); остальные НВ распределены по размерам таким образом:

- 2 группа (5.9...11.2 мкм) – 0.7...4.2% для оксидов и 0.8...6.7% для сульфидов;
- 3 группа (11.5...16.8 мкм) – 0...0.9% – оксиды и 0...1.8% – сульфиды;
- 4 группа (17.1...22.4 мкм) – 0...0.9% – оксиды, сульфидов нет;
- 5 группа (22.7...28 мкм) – 0...0.3% – оксиды, сульфидов нет;
- 7 группа (33.8...39.2 мкм) – 0...0.7% оксиды, сульфидов нет.

То есть в кованых образцах НЛЗ наблюдаются достаточно мелкие НВ (оксиды протяженностью до 11.5 мкм в 97.7...100% случаев по отдельным образцам; сульфиды – 16.8 мкм в 100%

случаев). Расчетные индексы (оксиды – до $6.5 \cdot 10^{-3}$, сульфиды – до $4.2 \cdot 10^{-3}$, общий – $8.6 \cdot 10^{-3}$) загрязненности литой стали НВ (то есть удельная длина НВ на 1 км длины исследуемого участка, другими словами, – от 0.65 до 0.86% базовой длины) также доказывают незначительность пораженности металла опытной плавки НВ оксидного и сульфидного видов/типов.

Диаграмма Pirelli (рис. 1) и конкретный анализ химического состава каждого НВ в катанке, участвующего в построении этой диаграммы, показывают удовлетворительное распределение НВ, которое может обеспечить высокую деформационную пластичность при волочении высокоуглеродистой катанки в проволоку диаметром до 0.15 мм без существенной обрывности. Так, запретная зона С ($h_{НВ} \leq 10$ мкм; плотность

$НВ \leq 20 \dots 40$ см⁻²) в опытной плавке включает всего 1 НВ протяженностью 1 мкм – 1% с плотностью ~ 18 см⁻². Остальные НВ находятся в оптимальной зоне В и имеют плотность $1395 \dots 2441/1808$ см⁻², но весьма малых размеров – не более 6 мкм. Фирма Pirelli признала, что плотность НВ не является представительной характеристикой и в 2004 г. заменила этот показатель на простое процентное соотношение; например, для металлокорда (см. спецификацию фирмы Pirelli N18.V.008, рев. № 7 от 16.06.04 г.) допускается в зоне С ($Al_2O_3 \geq 50\%$) не более 4% НВ максимальным размером 10 мкм, в зоне В ($Al_2O_3 = 25 \dots 50\%$) – не более 20% и в зоне А ($Al_2O_3 = 0 \dots 25\%$) – остальные НВ; в зоне А и В протяженность НВ допускается до 30 мкм. На рис. 1 для плавки 1 количество НВ (по новой

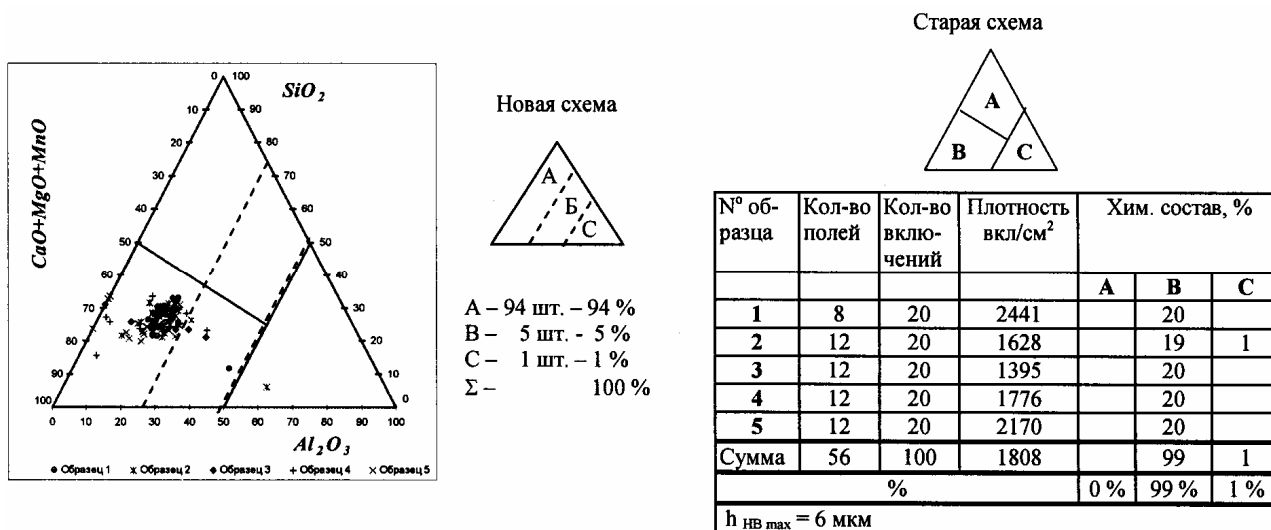


Рис. 1. Диаграмма ф. Pirelli для катанки диаметром 11.0 мм из стали марки С82D, микролегированной ванадием (плавка 1)

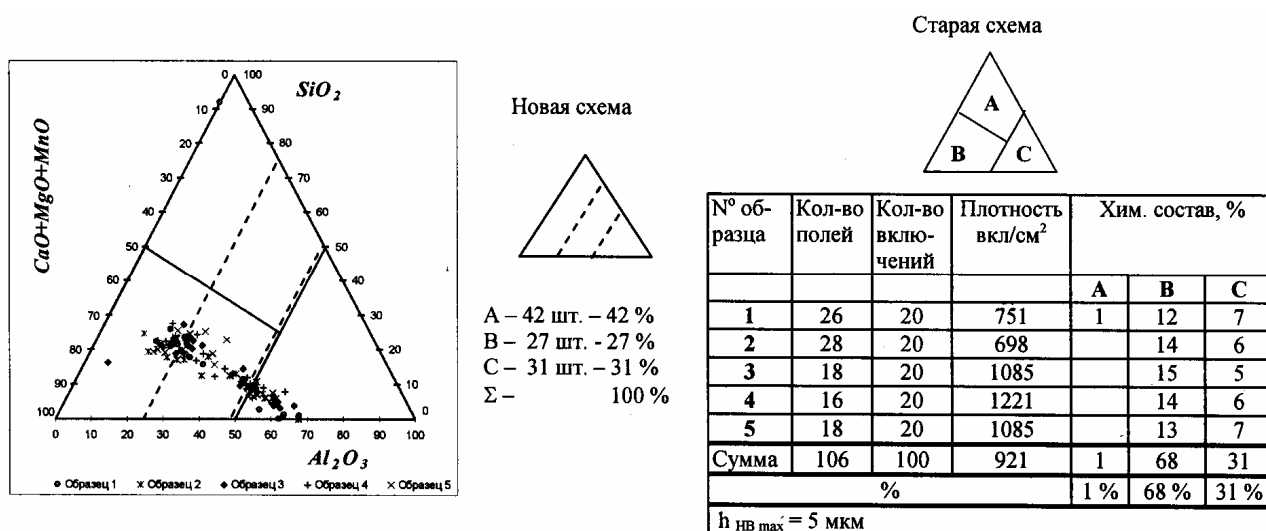


Рис. 2. Диаграмма ф. Pirelli для катанки диаметром 5.5 мм из стали марки 80КРД

Оценка НВ в катанке из стали 80КРД, обработанной белыми шлаками, по ГОСТ 1778 (метод Ш4)

методике) в зоне С – 1%, в зоне В ~ 5% и в зоне А – 94%. Это подтверждает высокую чистоту по НВ катанки из стали, обрабатываемой в СК, полностью зафутерованного основной магнезиальной массой, обеспечившей наличие в металле мелких и пластичных НВ. Такой металл имеет высокую технологичность при переработке в тонкую проволоку и металлокорд.

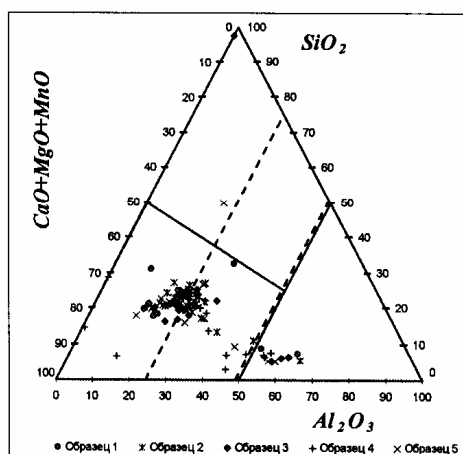
Обработка стали белыми синтетическими шлаками при сливе металла из ДСП в СК

С целью снижения загрязненности стали НВ, ускорения процессов их модифицирования была опробована более ранняя обработка стали основными шлаками – на этапе слива металла из ДСП в СК. С этой целью провели опытное производство высокоуглеродистой стали марки 80КРД (плавки 2 и 3) и катанки из неё. При этом обработка осуществлялась белыми шлаками с У КП, полученными при производстве низкоуглеродистой стали с повышенным содержанием алюминия. Результаты металлографической оценки сведены в табл. 1 и на рис. 2, 3, анализ которых показывает следующее.

Загрязненность стали НВ в НЛЗ оценивали исследованием кованных темплетов по ГОСТ 1778, метод Л1. Следует отметить, что по индексам НВ (оксидов до $9.9 \cdot 10^{-3}$, сульфидов до $8.0 \cdot 10^{-3}$ и суммарный до $12.5 \cdot 10^{-3}$) плавка 2 несколько чище, чем плавки 3 и 1. НЛЗ плавки 3 наиболее загрязнены НВ. Это подтверждается и распределением НВ по размерным группам.

Диаграммы Pirelli катанки этих двух последних плавков характеризуются тем, что наблюдается очень много НВ в запретной зоне С – соответственно 31 и 11% для плавков 2 и 3. При этом размеры НВ небольшие: соответственно не бо-

Условный номер бунта	Оксиды		Силикаты			Сульфиды
	точечные	строчечные	недеформирующиеся	хрупкие	пластичные	
1	2	3	4	5	6	7
Плавка 2						
6.1	0.5	0.0	2.0 (13 мкм)	1.5	0.0	1.0
6.2	0.5	0.0	1.0	1.5	2.0 (4 мкм)	1.0
6.3	0.5	0.0	1.5 (12 мкм)	1.0	0.0	0.5
6.4	0.5	0.0	1.5 (12 мкм)	1.0	0.0	0.5
6.5	0.5	0.0	0.5	1.0	0.0	0.5
6.6	0.5	0.0	1.0	1.0	0.0	1.0
Средний балл плавки	0.5	0.0	1.3	1.2	0.3	0.8
Плавка 3						
6.1	0.5	0.0	1.5 (22 мкм)	3.0	1.0	1.0
6.2	0.5	0.0	0.5	1.5	1.0	1.0
6.3	0.5	0.0	0.5	1.0	0.5	1.0
6.4	0.5	0.0	0.5	1.0	0.5	0.5
6.5	0.5	0.0	3.0 (62 мкм)	0.5	0.5	0.5
6.6	0.5	0.0	0.5	2.0 (16 мкм)	0.5	1.0
Средний балл плавки	0.5	0.0	1.1	1.5	0.7	0.8

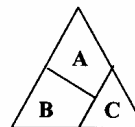


Новая схема



А – 68 шт. – 68 %
 В – 21 шт. – 21 %
 С – 11 шт. – 11 %
 Σ – 100 %

Старая схема



№ образца	Кол-во полей	Кол-во включений	Плотность вкл/см ²	Хим. состав, %			
				А	В	С	
1	11	20	1776		18	2	
2	13	20	1502		19	1	
3	14	20	1395	1	16	3	
4	11	20	1776		17	3	
5	12	20	1628	1	17	2	
Сумма	61	100	1601	2	87	11	
				%	2 %	87 %	11 %
h _{НВ max} = 7 мкм							

Рис. 3. Диаграмма ф. Pirelli для катанки диаметром 5.5 мм из стали марки 80КРД

лее 3 мкм (один выпад – $h=5$ мкм в зоне В) для плавки 2 и 4 мкм (один выпад – 7 мкм в зоне В) для плавки 3. Максимальное содержание Al_2O_3 (до ~ 68%) в НВ – это негативный результат, который обусловлен наличием в белых шлаках алюминия. Переход на белые шлаки, полученные в процессе внепечной обработки высокоуглеродистой стали, могут дать положительный эффект – освобождение от НВ зоны С диаграммы Pirelli. С другой стороны, имеется положительный эффект от опытной обработки стали синтетическими шлаками – прошло модифицирование НВ с их измельчением.

Обработка стали Ca + РЗМ лигатурой

В технической литературе [8, 12, 13] приводятся данные о положительном воздействии редкоземельных элементов (РЗМ) как модификаторов жидкой стали, благотворно влияющих на кристаллическую структуру непрерывного слитка и загрязненность стали НВ. В ряде случаев действие РЗМ признается более эффективным, чем таких элементов, как кальций и бор. Так, например, РЗМ сильнее бора влияют на снижение длины зоны столбчатых кристаллов (ЗСК), но бор [14] больше РЗМ влияет на внутреннее строение дендритов. Утверждается также, что РЗМ является более сильным модифика-

тором НВ, чем кальций. Поэтому в условиях СЗАО ММЗ была опробована в опытном порядке лигатура Ca + РЗМ (примерный состав: 10...12% Ca; 15% Mg; 40...45% Si; 10...12% РЗМ: из них до 50 – Се, 25% – La и 25% Nd – неодима или Pr – прозедиума) в серии плавов 4...11. При этом ввод опытной лигатуры несколько варьировался, а именно:

- плавки 4 и 5 – 100 м Ca + РЗМ после ввода в сталь бора;
- плавки 6 – 100 м Ca + РЗМ до отдачи FeV за 5 мин;
- плавки 7 и 8 – 150 м Ca + РЗМ после отдачи FeV проволоки;
- плавки 9...11 без обработки Ca + РЗМ – контрольный металл.

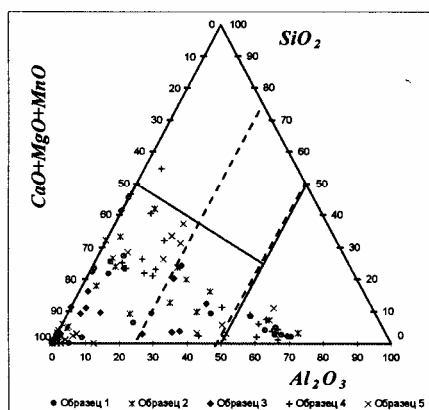
Следует отметить, что опыты проводились на стали марки С82D, микролегированной ванадием, из которой изготавливается высокопрочная катанка, а затем и проволока для производства арматурных канатов, натяжителей вантовых мостов и т.п. У такого металла предъявляются высокие требования к НВ и ликвационной однородности. Именно в этом направлении и предназначалось использование Ca + РЗМ лигатуры.

В табл. 2 и на рис. 4, а–з приведены результаты металлургического исследования НВ, анализ которых показывает следующее.

Таблица 2

Неметаллические включения в катанке диаметром 11.0 мм из стали С82D, обработанной или необработанной лигатурой с кальцием и редкоземельными металлами (ГОСТ 1778, метод Ш 4, оценка по методике ММЗ)

Номер плавки	С (+), без лигатуры (-)	Оценка по удельным показателям всех типов НВ			Σ НВ в одном образце min...max/ X_{cp}	Максимальная толщина $h_{НВ}$, мкм, тип НВ	Максимальный балл НВ
		Удельные средние $\Sigma X_{cp}/n$	Удельные, максимальные $\Sigma X_{max}/n$	Сумма удельных НВ $\Sigma \Sigma$			
4	(+)	0.83	1.75	2.58	3...10/5	15-СН, 18-СХ, 16-СП	4.5-СХ, 4.0-СП
5	(+)	0.95	1.58	2.53	3.5...7.5/5.7	48-СХ, 14-СП	4-СХ, 3-СП
6	(+)	0.73	1.00	1.73	3...5.5/4.3	8-СХ, 4-СП	2-СХ, 2-СП
7	(+)	0.87	1.50	2.37	3...8/5.2	22-СН, 20-СХ	2-СН, 4-СХ
8	(+)	0.90	1.67	2.57	2...9.5/5.4	22-СН, 25-СХ, 13-СП	2.5-СН, 3-СХ, 3.5-СП
	Σ (+)	0.73...0.95/0.86	1.00...1.75/1.50	1.73...2.58/2.34	2...10/5.1	СН-22, СХ-48, СП-16	СХ-4.5, СН-2.5, СП-4
9	(-)	0.58	1.00	1.58	2.5...4.5/3.7	11-СН, 13-СХ	2-СН, 2-СХ
10	(-)	0.63	1.08	1.71	3...4.5/3.8	15-СН, 9-СХ	2-СН, 2-СХ
11	(-)	0.70	1.00	1.70	3.5...5/4.3	16-СН, 16-СХ	2-СН, 2.5-СХ
	Σ (-)	0.58...0.70/0.64	1.00...1.08/1.03	1.58...1.71/1.66	2.5...5/3.93	СН-16, СХ-16	СХ-2.5, СН-2.0
	$\Delta(+)-(-)$	+ 0.22	+ 0.47	+ 0.68	+ 1.17	СН = +6, СХ = +32, СП = +16	СХ = +2 СН = +0.5 СП = +4

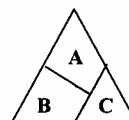


Новая схема



A – 64 шт. – 64 %
 B – 18 шт. – 18 %
 C – 18 шт. – 18 %
 Σ – 100 %

Старая схема

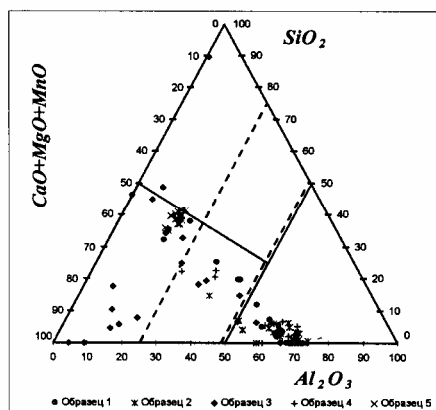


№ образца	Кол-во полей	Кол-во включений	Плотность вкл/см ²	Хим. состав, %		
				A	B	C
1	33	20	592		14	6
2	34	20	574		18	2
3	32	20	610		19	1
4	12	20	651	1	11	8
5	30	20	692		19	1
Сумма	141	100	1601	1	81	18
				%		
				1 %	81 %	18 %

$h_{НВ\ max} = 9\ \text{мкм}$

Плавка 4

а

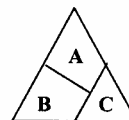


Новая схема



A – 28 шт. – 28 %
 B – 9 шт. – 9 %
 C – 63 шт. – 63 %
 Σ – 100 %

Старая схема

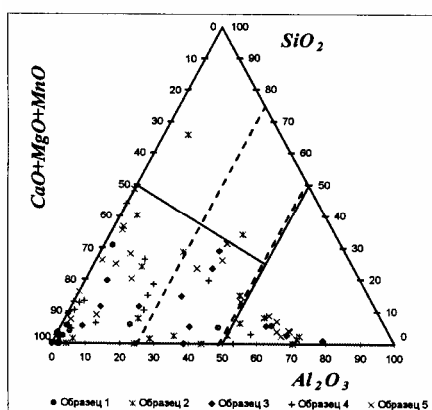


№ образца	Кол-во полей	Кол-во включений	Плотность вкл/см ²	Хим. состав, %		
				A	B	C
1	8	20	2441		7	13
2	12	20	1628		1	19
3	16	20	1221	2	14	4
4	10	20	1953		3	17
5	12	20	1628	1	19	
Сумма	58	100	1683	3	44	53
				%		
				3 %	44 %	63 %

$h_{НВ\ max} = 6\ \text{мкм}$

Плавка 6

б

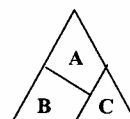


Новая схема



A – 67 шт. – 67 %
 B – 15 шт. – 15 %
 C – 18 шт. – 18 %
 Σ – 100 %

Старая схема



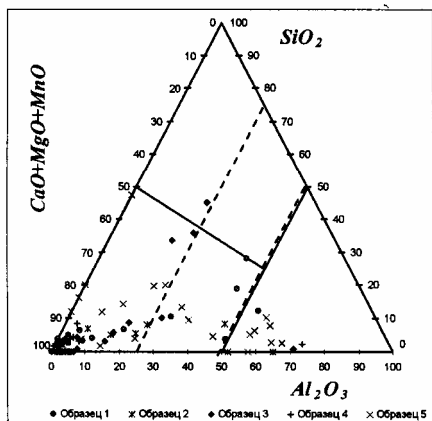
№ образца	Кол-во полей	Кол-во включений	Плотность вкл/см ²	Хим. состав, %		
				A	B	C
1	27	20	723		19	1
2	18	20	1085	2	12	6
3	35	20	558		17	3
4	38	20	514		18	2
5	33	20	592		14	6
Сумма	151	100	646	2	80	18
				%		
				2 %	80 %	18 %

$h_{НВ\ max} = 9\ \text{мкм}$

Плавка 5

в

Рис. 4. Диаграмма ф. Pirelli для катанки диаметром 11.0 мм из стали марки С82D (см. также с. 66 и 67)

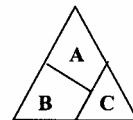


Новая схема



A – 79 шт. – 79 %
 B – 9 шт. – 9 %
 C – 12 шт. – 12 %
 Σ – 100 %

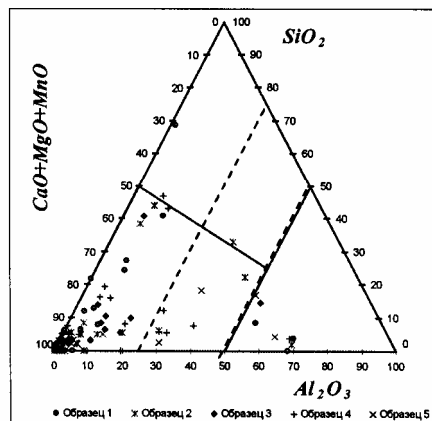
Старая схема



№ образца	Кол-во полей	Кол-во включений	Плотность вкл/см ²	Хим. состав, %			
				A	B	C	
1	19	20	1028		19	1	
2	34	20	574		18	2	
3	33	20	592	1	18	1	
4	24	20	814		19	1	
5	24	20	814		13	7	
Сумма	134	100	728	1	87	12	
				%	1 %	87 %	12 %
h _{НВ max} = 9 мкм							

Плавка 7

Г

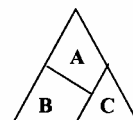


Новая схема



A – 84 шт. – 84 %
 B – 8 шт. – 8 %
 C – 8 шт. – 8 %
 Σ – 100 %

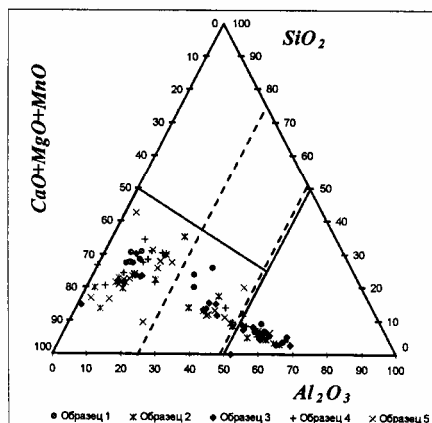
Старая схема



№ образца	Кол-во полей	Кол-во включений	Плотность вкл/см ²	Хим. состав, %			
				A	B	C	
1	26	20	751	1	16	3	
2	20	20	977	1	18	1	
3	33	20	592		19	1	
4	26	20	751	1	18	1	
5	29	20	673		18	2	
Сумма	134	100	728	3	89	8	
				%	3 %	89 %	8 %
h _{НВ max} = 9 мкм							

Плавка 8

Д

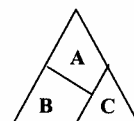


Новая схема



A – 49 шт. – 49 %
 B – 19 шт. – 19 %
 C – 32 шт. – 32 %
 Σ – 100 %

Старая схема

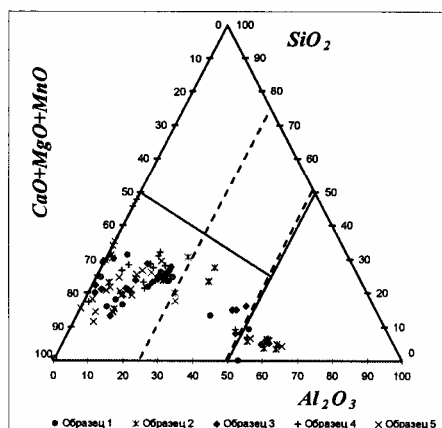


№ образца	Кол-во полей	Кол-во включений	Плотность вкл/см ²	Хим. состав, %			
				A	B	C	
1	29	20	673		11	9	
2	13	20	1502		15	5	
3	14	20	1395		12	8	
4	25	20	781		12	8	
5	20	20	977		18	2	
Сумма	101	100	966		68	32	
				%	0 %	68 %	32 %
h _{НВ max} = 4 мкм							

Плавка 9

е

Рис. 4. Продолжение

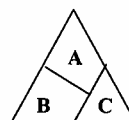


Новая схема



A – 75 шт. – 75 %
 B – 9 шт. – 9 %
 C – 16 шт. – 16 %
 Σ – 100 %

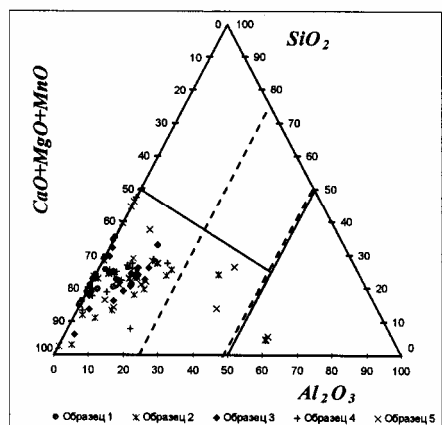
Старая схема



№ образца	Кол-во полей	Кол-во включений	Плотность вкл/см ²	Хим. состав, %		
				A	B	C
1	35	20	558	18	2	
2	16	20	1221	14	6	
3	33	20	592	17	3	
4	38	20	514	17	3	
5	35	20	558	18	2	
Сумма	157	100	622	84	16	
				%		
				0 %	84 %	16 %
h _{НВ max} = 7 мкм						

Плавка 10

Ж

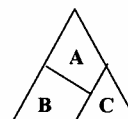


Новая схема



A – 94 шт. – 94 %
 B – 3 шт. – 3 %
 C – 3 шт. – 3 %
 Σ – 100 %

Старая схема

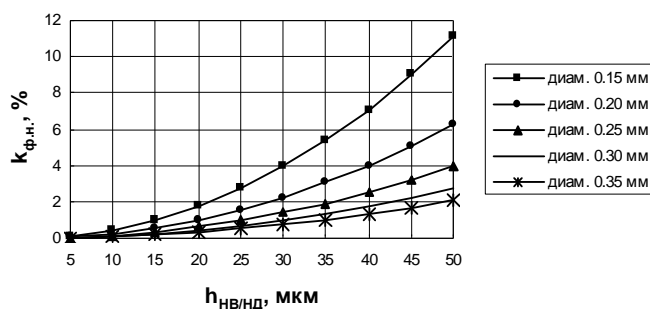


№ образца	Кол-во полей	Кол-во включений	Плотность вкл/см ²	Хим. состав, %		
				A	B	C
1	24	20	814	20		
2	31	20	630	18	2	
3	34	20	574	20		
4	23	20	849	1	19	
5	30	20	651	19	1	
Сумма	142	100	687	1	96	3
				%		
				1 %	84 %	3 %
h _{НВ max} = 9 мкм						

Плавка 11

З

Рис. 4. Окончание



Ø 0.15 – K_{ф.н.} ≤ 10 % - h ≤ 47 мкм; K_{ф.н.} ≤ 5 % - h ≤ 33 мкм; K_{ф.н.} ≤ 3 % - h ≤ 26 мкм;
 Ø 0.20 – K_{ф.н.} ≤ 5 % - h ≤ 45 мкм; K_{ф.н.} ≤ 3 % - h ≤ 35 мкм; Ø 0.25 – K_{ф.н.} ≤ 3 % - h ≤ 43 мкм;
 Ø Ø 0.30 и 0.35 мм – все значения K_{ф.н.} ≤ 3 % для всех h_{НВ/нд}

Рис. 5. Зависимость коэффициента физической неоднородности (K_{ф.н.}) от размера единичного недеформируемого НВ (h_{НВ/нд}) и диаметра готовой проволоки (d, мм)

Лучшие результаты по чистоте катанки от НВ наблюдаются (см. табл. 2) на плавках 9, 10, 11, 6, в которых сумма удельных НВ соответственно равняется 1.58; 1.70; 1.71 и 1.73, что близко к требованиям к катанке под металлокорд. У остальных плавков этот показатель загрязненности стали НВ почти в 2 раза больше (2.37...2.58). Толщина НВ составляет в лучших плавках СХ – 13 мкм (9); СН – 16 и СХ – 16 мкм (11); СН – 15 мкм (10) и СХ – 8 мкм (6); в других плавках – СХ – 20 мкм (7); СХ – 48 мкм (5); СХ – 25 и

СН – 22 мкм (8); СН – 15 и СХ – 18 мкм (4). Вышеуказанные результаты подтверждаются и диаграммами Pirelli, но со своими оригинальными вариациями. Так, например:

- по толщине НВ: лучшие плавки – 9 ($h_{НВ} \leq 4$ мкм), 10 ($h_{НВ} \leq 7$ мкм) и 6 (≤ 6 мкм), остальные плавки – ≤ 9 мкм;
- по плотности НВ: 10 (622 см^{-2}); 5 (647 см^{-2}); 11 (688 см^{-2}); 4 (693 см^{-2}); 7 и 8 (729 см^{-2}) и в плавке 6 (1684 см^{-2});

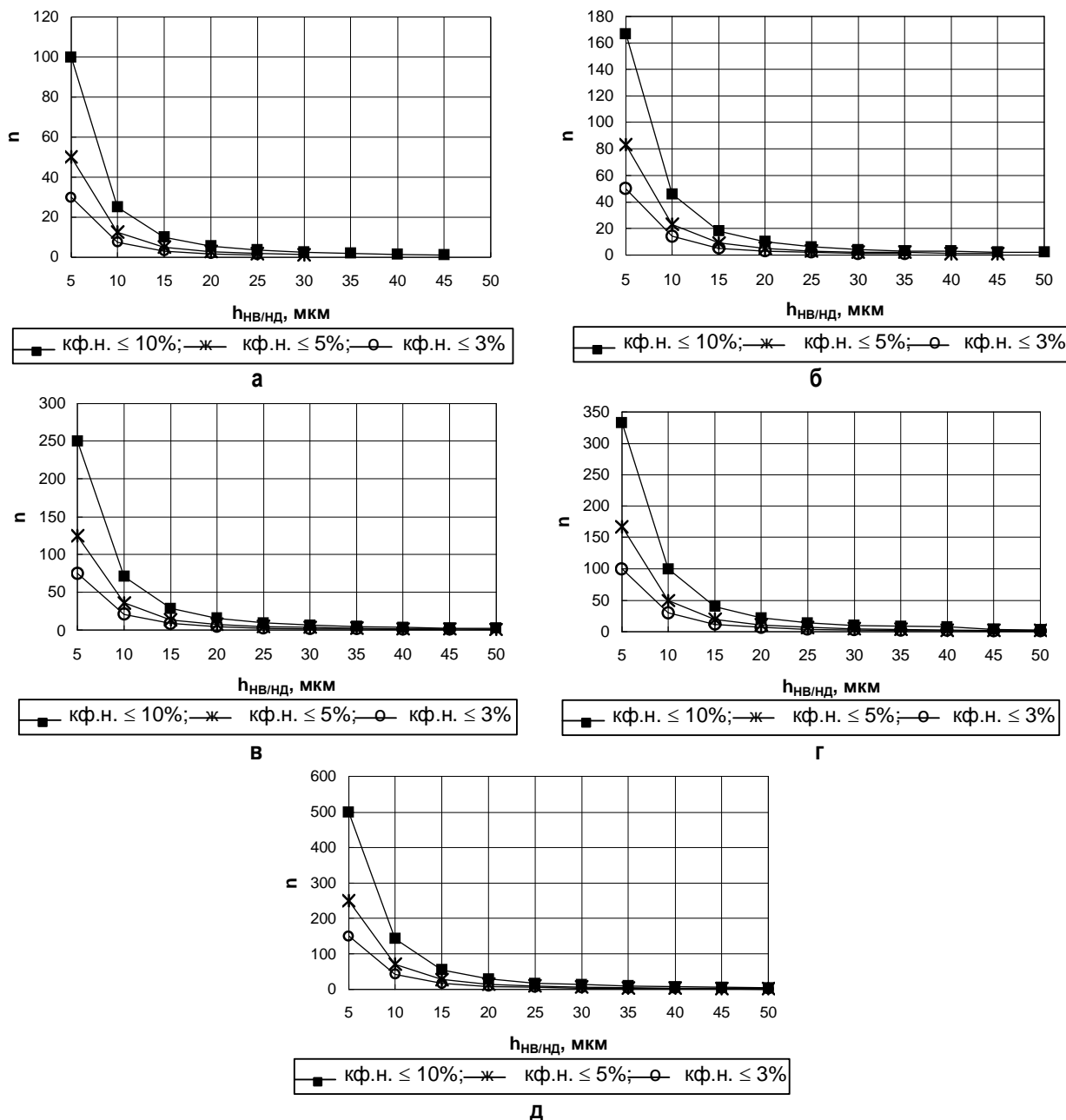


Рис. 6. Зависимость предельно допустимого значения количества НВ - [НВ] от размера НВ/НД, диаметра готовой проволоки и $K_{ф.н.}$:
 а – $\varnothing 0.15$ мм; б – $\varnothing 0.20$ мм; в – $\varnothing 0.25$ мм; г – $\varnothing 0.30$ мм; д – $\varnothing 0.35$ мм

- по загрязненности НВ в зоне С: 11 (3%); 8 (8%); 7 (23%); 10 (16%); 4 и 5 (18%); 9 (32%) и 6 (53%);
- по эффективности расположения НВ: по зонам диаграммы – плавки 10 и 11 (лучшая плавка).

Таким образом, модифицирование стали лигатурой, содержащей Са и РЗМ, при первичном опробовании не дало положительного эффекта. Тем не менее, наиболее оптимальными выглядят плавки 9 и 6 (оценка – по ГОСТ 1778, метод Ш4) и плавки 9 и 8 (оценка – по методике фирмы Pirelli). Однако плавки 9 и 6 не соответствуют требованиям к высококачественной катанке по химическому составу НВ (зона С – $Al_2O_3 > 50\%$), плавка 8 имеет очень крупные единичные НВ. В целом, металл без лигатуры значительно чище по НВ.

Тем не менее, можно рекомендовать повторить опыты по модифицированию стали Са + РЗМ лигатурой с целью поиска наилучшего результата.

Оценка предельно допустимой загрязненности стали НВ с применением коэффициента физической неоднородности

В работах [8, 9, 15] доказывается, что применение для оценки НВ в стали коэффициента физической неоднородности $k_{фн}$ ($k_{фн} = S_{нв}/S$, где $S_{нв}$ – суммарная площадь, занимаемая недеформируемыми НВ, S – площадь поперечного сечения готовой проволоки) и эффективно, и универсально. Поэтому представляется целесообразным представить зависимость $k_{фн}$ от предельных размеров единичных НВ и решить обратную задачу, а именно определить количество предельно допустимых НВ в функции от размера НВ и $k_{фн}$. Эти зависимости представлены на рис. 5, 6 и в табл. 3, 4. Используя эти данные, можно установить приемлемость катанки для конкретного назначения по уровню загрязненности стали НВ.

Анализ представленных данных показывает следующее. Расчетным способом установлены

Таблица 3

Значения $k_{фн}$ (%) от толщины НВ – $h_{нв}$ и диаметра готовой проволоки (d)

Диаметр проволоки, мм	$h_{нв}$, мкм									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.15	0.1	0.4	1.0	1.8	2.8	4.0	5.4	7.1	9.0	11.1
0.20	0.06	0.22	0.56	1.01	1.57	2.25	3.03	3.99	5.06	6.24
0.25	0.04	0.14	0.35	0.64	0.99	1.42	1.92	2.53	3.20	3.95
0.30	0.03	0.10	0.25	0.45	0.70	1.00	1.35	1.78	2.25	2.78
0.35	0.02	0.07	0.18	0.33	0.51	0.73	0.99	1.31	1.65	2.04

значения $k_{фн}$ в зависимости от размера единичного недеформируемого НВ ($h_{нв/нд}$), диаметра (0.35...0.15 мм) готовой проволоки кордового назначения. В работе [15] регламентировано допустимое значение $k_{фн}$ в катанке, например для металлокорда, равное не более 5%. С учетом этого критерия (см. рис. 5, табл. 3) можно установить, что 5-процентный барьер проходят единичные НВ толщиной не более 35 мкм для диаметра проволоки 0.15 мм, 45 мкм – 0.20 мм и т.п. Однако, как правило, в реальном металле имеется множество мелких и более крупных НВ. В табл. 4 и на рис. 6 представлено допустимое количество НВ в катанке определенного диаметра в зависимости от $k_{фн}$ и диаметра готовой проволоки. Так, для диаметра готовой проволоки 0.15 мм для обеспечения $k_{фн}$ не более 5% допустимо наличие до 50 НВ протяженностью (условного максимального размера НВ) 5 мкм, примерно 13 НВ диаметром 10 мкм, 5 НВ диаметром 15 мкм... 1 НВ протяженностью 30 мкм. НВ размером более 35 мкм не допустимы. Для точного расчета предельных критерияльных значений необходимо определить площадь всех недеформируемых НВ в поперечном сечении катанки и рассчитать реальное значение $k_{фн}$. Идеальная оценка загрязненности стали НВ, по-видимому, состоит в сочетании вышеописанного метода с использованием $k_{фн}$ и новой методики фирмы Pirelli, ограничивающей НВ по содержанию Al_2O_3 .

Таблица 4

Зависимость допускаемого количества [НВ] от толщины НВ и диаметра готовой проволоки

Диаметр проволоки, мм	$k_{фн} \leq$	$h_{нв}$, мкм									
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.15	10	100	25	10	6	4	3	2	1	1	-
	5	50	13	5	3	2	1	-	-	-	-
	3	30	8	3	2	1	-	-	-	-	-
0.20	10	167	46	18	10	6	4	3	3	2	2
	5	83	23	9	5	3	2	2	1	1	-
	3	50	14	5	3	2	1	1	-	-	-
0.25	10	250	71	29	16	10	7	5	4	3	3
	5	125	36	14	8	5	4	3	2	2	1
	3	75	21	9	5	3	2	2	1	1	-
0.30	10	333	100	40	22	14	10	9	8	4	3
	5	167	50	20	11	7	5	4	3	2	2
	3	100	30	12	7	4	3	2	2	1	1
0.35	10	500	143	56	30	17	14	10	8	6	5
	5	250	71	28	15	10	7	5	4	3	3
	3	150	43	17	9	6	4	3	2	2	1

Выводы

С целью снижения загрязненности высокоуглеродистой стали НВ проведено опытное опробование применения полностью магнизиальных СК, обработки стали синтетическими шлаками при сливе металла из ДСП в СК, а также лигатурой с содержанием кальция и редкоземельных металлов. Кроме того, проанализированы методы оценки НВ и выбора критериев их нормирования.

Использование полностью магнизиальных СК

дало положительный эффект – количество НВ с Al_2O_3 более 50% минимально и отвечает требованиям фирмы Pirelli для катанки под металлокорд.

Обработка синтетическими шлаками обеспечивает модифицирование НВ, однако необходимо применять «белые» шлаки без алюминия.

Лигатура на базе кальция и редкоземельных металлов не дала положительных результатов.

Наиболее оптимальным для оценивания НВ является сочетание $k_{фн}$ и методики фирмы Pirelli.

Библиографический список

1. Сравнительный анализ нормируемых показателей качества катанки, проволоки и проволочных изделий из углеродистой стали / А.Б. Сычков, О.В. Парусов, А.М. Нестеренко, М.А. Жигарев // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2002. № 1. С. 52–55.
2. Разработка сквозной технологии производства катанки из качественной углеродистой стали в условиях ММЗ / В.В. Парусов, А.М. Нестеренко, А.Б. Сычков, Р.В. Старов, И.В. Деревянченко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2002. № 2. С. 52–54.
3. О целесообразности ограничения содержания примесей цветных металлов в углеродистой катанке / Н.А. Богданов, А.В. Кутаков, А.Б. Сычков, М.А. Жигарев, В.В. Парусов, А.М. Нестеренко // *Сталь*. 2000. № 1. С. 67–69.
4. Парусов В.В., Вилипп А.И., Сычков А.Б. Влияние примесных элементов на качество углеродистой стали // *Сталь*. 2002. № 12. С. 53–55.
5. Глубина обезуглероженного слоя на углеродистой катанке различных заводов-изготовителей / В.В. Парусов, В.А. Луценко, А.Б. Сычков, В.А. Тищенко, А.И. Сивак // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2003. № 5. С. 61–64.
6. Изменения химического состава неметаллических включений на всех этапах производства стали / Р.В. Старов, И.В. Деревянченко, В.В. Парусов, А.Б. Сычков, С.Ю. Жукова, Д.Н. Тогобицкая // *Сталь*. 2005. № 1. С. 79–82.
7. Технологичность высокоуглеродистой катанки на метизном переделе / Э.В. Парусов, В.В. Парусов, В.А. Луценко, А.Б. Сычков, В.В. Артемов, Л.И. Демьянова // *Стальные канаты: Сб. науч. тр. Одесса: Астропринт, 2005. С. 110–115.*
8. Скок Ю.Я. Повышение качества стали путем модифицирования // *Сталь*. 1992. № 8. С. 13–17.
9. Губенко С.И., Парусов В.В., Деревянченко И.В. Неметаллические включения в стали. Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2005. 536 с.
10. Сычков А.Б. Разработка комплексной технологии производства эффективных видов катанки из непрерывно-литой заготовки малого сечения с повышенным содержанием примесей цветных металлов и азота: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.01 и 05.16.02. Минск, 2005. 380 с.
11. Обеспечение показателей качества катанки для металлокорда / В.В. Парусов, И.В. Деревянченко, А.Б. Сычков, А.М. Нестеренко, Э.В. Парусов, М.А. Жигарев // *Металлург*. 2005. № 11. С. 45–51.
12. Малиночка Я.Н., Ковальчук Г.З. Сульфиды в сталях и чугунах. М.: *Металлургия*, 1988. 248 с.
13. Малиночка Я.Н., Титова Т.М., Курасова А.Н. Состав и структура глобулярных сульфидов в сталях с РЗМ // *Сталь*. 1986. № 4. С. 78–83.
14. Лякишев Н.П., Плинер Ю.Л., Лаппо С.И. Борсодержащие стали и сплавы. М.: *Металлургия*, 1986. 192 с.
15. Белалов Х.Н. Формирование свойств канатной проволоки // *Стальные канаты: Сб. науч. тр. Одесса: Астропринт, 2001. С. 105–116.*

УДК 669.018.9

Чуманов В.И., Пятагин Д.А., Чуманов И.В.

УПРОЧНЕНИЕ СТАЛИ ТУГОПЛАВКОЙ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗОЙ*

Современные металлические материалы работают в сложных условиях, характеризующихся широким интервалом температурных, в условиях высокого абразивного износа, скоростных и механи-

ческих воздействий. Анализ причин абразивного износа деталей, работающих в условиях сухого трения, показал, что в зоне контакта создаются высокие температуры, приводящие к отпуску закаленной стали и резкому снижению твердости и износостойкости. Одним из путей увеличения ме-

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований № 07-08-00207-а.

ханических свойств металлических материалов, повышения их срока службы и снижения металлоемкости продукции является увеличение конструктивной прочности стали и сплавов других металлов путем введения в металлическую матрицу дисперсных тугоплавких упрочняющих фаз и равномерного их распределения в металлической матрице [1–3]. В качестве стальной матрицы возможно использовать инструментальные, средне- и высокоуглеродистые стали, включая и быстрорежущие, а в качестве упрочняющих – твердые тугоплавкие частицы, например карбид титана (TiC). TiC имеет высокие твердость, термодинамическую стабильность в металлических расплавах, температуру плавления, коррозионную стойкость и низкую плотность. Введение тугоплавких частиц в расплав в процессе кристаллизации позволит также измельчать зерно, так как они будут играть роль дополнительных центров кристаллизации. Возможность получения требуемых различных свойств сплавов путем изменения соотношения карбидов и металлической связки, а также проведения их термической обработки позволяет применять композиции карбид титана–сталь в качестве материала для режущего инструмента и штампов для изготовления конструкционных деталей, работающих в условиях сухого трения и подвергающихся интенсивному абразивному износу.

Физико-механические методы обработки металлических расплавов дисперсными упрочняющими фазами, в частности карбидом титана (механическое замешивание, обработка ультразвуком, осаждение в электрическом поле и др.), не дают стабильных результатов по причине их низкой плотности по сравнению с матричным расплавом. При обычной разливке стали, например, когда жидкая ванна находится над фронтом кристаллизации, такое дисперсное упрочнение оказывается невозможным вследствие всплывания частиц в том же направлении, что и движение фронта кристаллизации. Данное обстоятельство приводит к неравномерному распределению тугоплавких частиц и, как следствие этого, отсутствие изотропии физико-механических свойств по объему заготовки.

Эффективно ввести твердые тугоплавкие упрочняющие частицы в жидкий металлический расплав и обеспечить их равномерное распределение по фронту кристаллизации можно, реализуя способ разливки с одновременной подачей тугоплавких частиц и вытягиванием формируемой заготовки (слитка) вверх, т.е. в направлении, обратном гравитационным силам (Способ получения композиционного материала с повышенной износостойкостью: пат. 2080206 РФ, рис. 1). В этом случае фор-

мирующийся слиток можно считать гетерогенной системой, для которой в общем случае характерно наличие двух фаз – жидкой и твердой, разделенных переходной двухфазной областью [4]. В пределах двухфазной зоны формируется дендритная структура. Особенностью кристаллизации внутренних объемов заготовок является то, что на последней стадии металл в двухфазном состоянии находится в узких вытянутых объемах. Вводимые в центровую тугоплавкие частицы увлекаются потоком жидкого металла и через литниковую систему доставляются в кристаллизатор. Всплывая в жидком металле по закону Стокса, частицы попадают в двухфазную зону (фронт кристаллизации), где и захватываются растущими осями дендритов. При вытягивании формируемой заготовки вверх с определенной скоростью фронт кристаллизации находится на одной высоте, а к нему осуществляется постоянное поступление нового количества жидкого металла и тугоплавких частиц. Кроме того, частицы, введенные в расплав в оптимальных количествах, являются, как было отмечено ранее, активными центрами кристаллизации, ускоряющими процесс затвердевания металла.

Для равномерного распределения частиц по всему сечению литой заготовки и отсутствия дефектов ликвационно-усадочного характера, необходимо обеспечить равенство скоростей кристаллизации и вытягивания. В зависимости от скорости вытяжки формируемой заготовки, температуры разливки и объемной доли упрочняющих частиц формируется та или иная структура композиционного материала с требуемыми физико-меха-

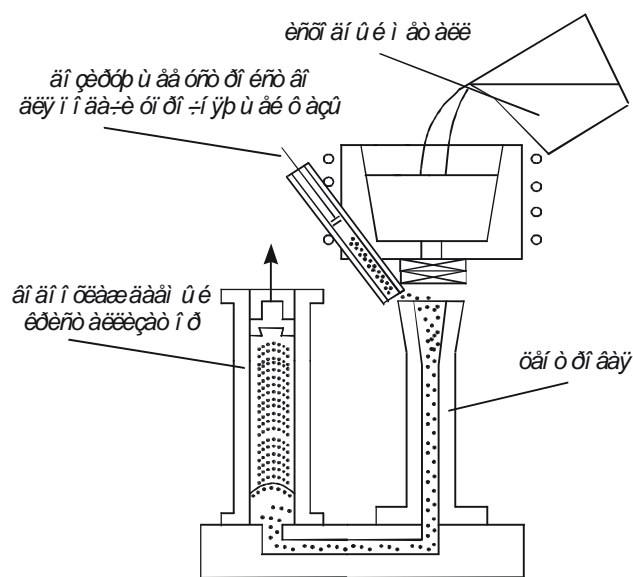


Рис. 1. Способ получения композиционного материала с повышенной износостойкостью с вводом упрочняющей фазы

ническими свойствами. Изотропия механических свойств в литой заготовке обеспечивается оптимальным профилем (вогнутостью) фронта кристаллизации, форма которого зависит от скорости вытягивания заготовки, а равномерность распределения тугоплавких частиц – от скорости их подачи в центровую. Анализ системы Fe–Ti–C позволил сделать вывод, что для предотвращения выкрашивания частиц из матричного состава необходимо обеспечить угол их смачиваемости менее 90°, что достигается введением металлического титана в расплав перед разливкой.

Скорость подачи тугоплавких частиц в центровую возможно определить из соотношения

$$\frac{C_V(z, \tau)}{C_V^0} = \frac{H \exp\left(\frac{(z-H)}{V_C |\tau - \tau_0|}\right)}{V_C |\tau - \tau_0| \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{H}{V_C |\tau - \tau_0|}\right)\right)},$$

где z – вертикальная координата рассматриваемого объема; τ и τ_0 – текущее время и время полного всплывания частицы, с; H – координата поверхности расплава, м; C_V^0 – средняя величина объемной доли при $\tau = 0$; $C_V(z, \tau)$ – плотности распределения объемной доли частиц; V_C – стоковская скорость установившегося движения частиц, м/с,

$$V_C = \frac{2}{9} \cdot \frac{(\rho_{Me} - \rho_{TiC}) \cdot g \cdot r^2}{\eta_{Me}},$$

ρ_{Me} – плотность металла, кг/м³; ρ_{TiC} – плотность карбида титана, кг/м³; η_{Me} – динамическая вязкость металла, Па·с; r – радиус частиц карбида титана, м; g – ускорение свободного падения,

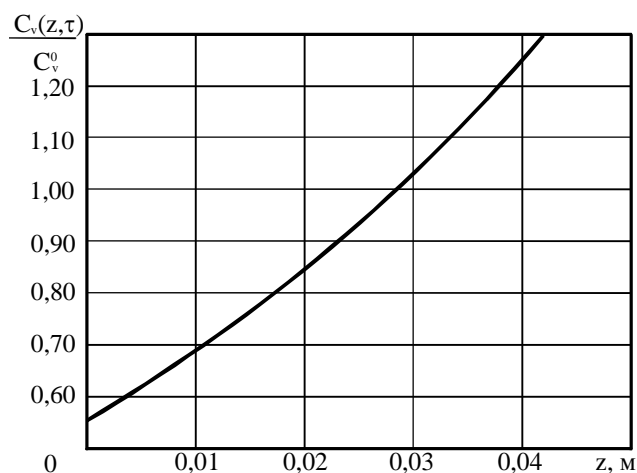


Рис. 2. Зависимость $C_V(z, \tau)/C_V^0$ от z при $\tau = 60$ с

$g=9,8$ м/с².

Используя полученное соотношение, был сделан расчет для случая всплывания дисперсных частиц карбида титана (TiC) в жидком металлическом расплаве (сталь У7). Примем $\rho_0=7200$ кг/м³, $\rho_1=4500$ кг/м³, $\eta=5 \cdot 10^{-5}$ Па·с, $r=5$ мкм, $H=0,05$ м; найдем $V_C=2,9 \cdot 10^{-5}$ м/с. Время τ_0 можно оценить из соотношения $\tau_0=H/V_C$; в нашем случае $\tau_0=1724$ с. Для момента времени $\tau=60$ с соотношение запишется в виде

$$\frac{C_V(z, \tau)}{C_V^0} = 1,6 \exp\left(\frac{z-H}{0,048}\right).$$

График зависимости $C_V(z, \tau)/C_V^0$ представлен на рис. 2.

Для практического осуществления данного способа была разработана схема с использованием подъемного механизма установки ОКБ-906, так как данная установка позволяет обеспечить требуемую (по расчету) скорость вытяжки. Сталь марки У7, выплавленная в индукционной печи (после промывочных плавок), разливалась на модернизированной установке с введением твердофазных частиц. Температура стали перед разливкой 1650°С. В качестве дисперсной тугоплав-

Таблица 1

Химический состав и технологические параметры опытных плавок

Сталь марки У7 по ГОСТ 1435-74, %								
C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Cu	
0,65-0,74	0,17-0,33	0,17-0,33	н.б.					
			0,03	0,028	0,25	0,20	0,25	
Плавка № 801885 цельнолитая без упрочнения, %								
Перед выпуском в ковш								
C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Cu	Ti
0,60	0,18	0,20	0,013	0,009	0,34	0,38	0,24	0,01
Перед разливкой и вытяжкой								
C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Cu	Ti
0,54	0,30	0,31	0,014	0,004	0,34	0,36	0,24	0,049
Начальная скорость вытяжки – 0,05 м/мин. Рабочая скорость вытяжки – 0,03 м/мин. В ковш присаживали металлический титан – 0,9 кг.								
Плавка № 801834 цельнолитая с упрочнением TiC, %								
Перед выпуском в ковш								
C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Cu	Ti
0,55	0,20	0,25	0,013	0,009	0,34	0,45	0,19	0,01
Перед разливкой и вытяжкой								
C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Cu	Ti
0,60	0,25	0,29	0,014	0,008	0,34	0,44	0,19	0,061
Начальная скорость вытяжки – 0,05 м/мин. Рабочая скорость вытяжки – 0,03 м/мин. В ковш присаживали металлический титан – 0,9 кг. В центровую присаживали TiC – 0,9 кг.								

кой фазы использовали карбид титана (TiC), а для улучшения смачиваемости карбидов в ковш перед разливкой давали металлический титан. Химический анализ проводился в ковше и после введения карбида титана. Химический состав и технологические параметры опытных плавов представлены в табл. 1.

Были получены слитки с удовлетворительным качеством поверхности. Проведенный микроанализ показал, что было обеспечено равномерное распределение тугоплавких частиц по сечению заготовки (рис. 3).

Исследование микроструктуры показало, что при реализации предложенного способа разлива, с вытягиванием формирующейся в кристаллизаторе заготовки вверх, наблюдается достаточно равномерное распределение введенных в металл дисперсных частиц по всему объёму заготовки, хотя в краевой зоне слитка наблюдается несколько меньшая концентрация карбидов титана. Это обусловлено процессом затвердевания слитка: так как фронт кристаллизации имеет выгнутую форму, то конвективные потоки в жидкой стали частично вымывают дисперсную тугоплавкую фазу с периферийной зоны литой заготовки. Данную неоднородность возможно устранить последующей деформацией.

Полученный металл был деформирован на квадрат 40 мм. Опытный металл хорошо поддавался пластической деформации. Все образцы опытной плавки стали марки У7, упрочненной TiC, перед испытаниями были подвергнуты следующей термической обработке. Закалка: температура 800–820°C, охлаждающая среда – вода; отпуск: температура 300–320°C, выдержка при температуре отпуска – 2 ч и последующее охлаждение

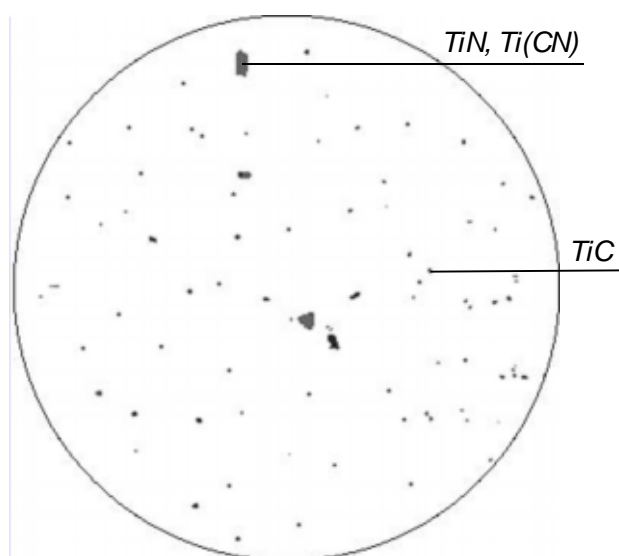


Рис. 3. Микроструктура опытного металла, $\times 312$

на воздухе. После чего проводились исследования механических свойств представленных в табл. 2.

Результаты механических испытаний свидетельствуют о необходимости более тщательно подбирать концентрацию модифицирующей фазы для выхода на требуемые механические свойства и обоснованный подход к выбору стали для модифицирования.

Из деформированного металла были вырезаны образцы и проведено предварительное исследование изменения износостойкости в зависимости от изменения технологии и термической обработки. Измерение износостойкости проводилось на базе лаборатории кафедры “Общая металлургия” филиала ГОУ ВПО ЮУрГУ в г. Златоусте. Была создана установка и разработана методика измерения износостойкости. Взяв за основу принцип определения удельной работы износа, была разработана принципиально новая схема автоматизации процесса измерения износостойкости. Под образцом, нагруженным дополнительной массой, протягивается абразивная лента. В течение всего времени испытания образец соприкасается с непрерывно обновляемым участком абразивной ленты. Образец удерживается тягой, соединённой с силоизмерителем, который фиксирует силу трения. Силоизмеритель электромеханического типа подаёт сигнал об изменении силы трения на усилитель сигнала, далее сигнал поступает на блок обработки данных, где производится запоминание, сравнение и вывод результатов на блок индикации. По изменению массы образца и величине работы, показанной на индикаторе, определяется удельная работа износа.

Износостойкость опытного металла исследовалась как на отожженных образцах и сравнивалась с износостойкостью стали У7, полученной по классической технологии, так и в термообработанном состоянии (закалка: температура 800–820°C, охлаждающая среда – вода; отпуск: температура 300–320°C, выдержка – 2 ч и последующее охлаждение на воздухе, HRC=55) и сравнивались со сталями ЭИ107, 110Х18М-ШД в закалённом

Таблица 2

Механические свойства опытного металла

Номер пробы	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ , %	ψ , %	KCU, кгс/см ²	Твердость, HRC
Плавка № 801885 цельнолитая без упрочнения, %						
1	467,46	812,42	24,0	59,7	4,6	12
2	421,4	812,32	24,0	51,4	3,4	11
Плавка № 801834 цельнолитая с упрочнением TiC, %						
1	361,62	743,82	24,0	48,1	4,4	10
2	355,74	741,86	24,0	49,0	4,1	8

состоянии (HRC=55).

Результаты измерения износостойкости полученного материала в сравнении с другими сталями представлены на рис. 4.

Результаты измерения износостойкости в отожженном состоянии свидетельствуют о том, что введение твердофазных частиц приводит к увеличению износостойкости на 14% по сравнению с неупрочненной сталью. Добавки титана в ковш для увеличения смачиваемости не приводят к повышению износостойкости, так как, очевидно, данной концентрации титана недостаточно для образования достаточного количества карбидов. Исследование влияния термообработки и увеличения твердости на износостойкость показало, что удельная работа износа материала в термообработанном состоянии увеличивается незначительно, несмотря на достаточно большое увеличение твердости (в отожженном состоянии HRC=10, в закаленном HRC=55). Сравнение композиционного материала с другими дорогостоящими высокоизносостойкими сталями (ЭИ 107, 110Х18М-ШД) показало, что полученный композиционный материал по износостойкости им не уступает.

Заключение

Экспериментально, в условиях промышленного производства, осуществлена опытная разливка с введением упрочняющей экзогенной

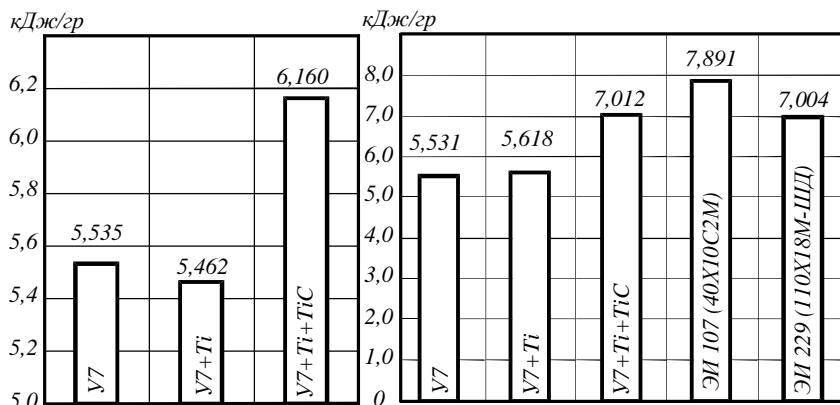


Рис. 4. Удельная работа износа

карбидной фазы и получены цельнолитые заготовки.

При реализации способа упрочнения стали и сплавов дисперсными тугоплавкими фазами распределение дисперсных тугоплавких фаз по сечению слитка остается стабильным во всех исследованных случаях: отмечено некоторое увеличение концентрации дисперсной фазы от края слитка к центру.

Показано, что ввод в жидкий металл дисперсных твердых тугоплавких фаз при вытягивании слитков вверх позволяет зафиксировать их в металлической матрице и обеспечить увеличение прочностных характеристик металла, существенное увеличение износостойкости металлических материалов и мало влияет на изменение их пластических характеристик по сравнению с базовым материалом.

Библиографический список

1. Гольдштейн М.И., Фарбер В.М. Дисперсное упрочнение стали. М.: Металлургия, 1979. 208 с.
2. Туманов А.Т. Волокнистые и дисперсно-упрочненные композиционные материалы. М.: Наука, 1976. 156 с.
3. Соловьев В.П., Молчанов М.Д., Новоженова В.А. Введение дисперсных частиц в литейные сплавы // Изв. вузов. Черная металлургия. 1981. № 5. С. 136–139.
4. Лисиенко В.Г., Лобанов В.И., Китаев Б.И. Теплофизика металлургических процессов. М.: Металлургия, 1982. 240 с.

УДК 621.74.94:669.131.7.061.062

Чайкин В.А., Болдырев Д.А., Чайкина Н.В.

ОСОБЕННОСТИ ГРАФИТИЗИРУЮЩЕГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА СМЕСЕВЫМИ МОДИФИКАТОРАМИ В УСЛОВИЯХ ОАО «АВТОВАЗ»

В ОАО «АВТОВАЗ» производится отливка 2101-3105015 «Ступица переднего колеса» из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом марки ВЧ50. Отливку получают обработкой в

ковше емкостью 1200 кг сфероидизирующим модификатором NiMg15Ce0,5 в количестве 4,8 кг (0,4% от металлоемкости ковша). В структуре отливки допускается до 5% цементита. В силу своей

конструктивной особенности вышеуказанная отливка имеет высокую склонность к отбелу. Для исключения этого вида брака используется повышенное количество графитизирующего модификатора. В ковш наряду с никель-магниевого лигатурой дополнительно укладывается графитизирующий модификатор ФС75л6 фракции 3,2...10 мм в количестве 11 кг (0,9%). Кроме того, производится позднее модифицирование чугуна. Для этого в литниковую чашу формы укладывается кусок ферросилиция массой 150...200 гр (0,23–0,3% от металлоемкости формы).

С целью снижения себестоимости модифицирования в данной работе проведено исследование эффективности смесевых модификаторов МК21 в ковше и МКМг19 в форме, производимых Смоленским региональным отделением российской ассоциации литейщиков (СРО РАЛ), по ТУ 0826-003-47647304-2001.

До недавнего времени производство смесевых модификаторов, в основном, было основано на использовании вторичных продуктов (иногда отходов) ферросплавных предприятий. В новой генерации смесевых модификаторов применяются более перспективные материалы. Речь идет о модификаторах на основе дисперсных порошков, свойства которых до конца еще не раскрыты и изучаются сейчас с возрастающей активностью.

Модификаторы серии МК – пакетированные смеси, состоящие, в основном, из порошков активированного высокотемпературной обработкой углерода и полученного физико-химическим путем металлического кремния. Кроме того, модификаторы в микродозах содержат в своем составе кальций, медь, алюминий и титан. В МКМг19 дополнительно вводятся сублимирующие при температурах заливки химические соединения магния. Пары магния резко увеличивают турбулентность потока, способствуют улучшению теплообмена между частицами модификатора и расплавом

и, следовательно, обеспечивают растворимость частиц модификатора во время заполнения формы. Высокая степень дисперсности и специальные свойства, приобретаемые веществом при переходе в ультратонкое состояние, обуславливают резкое увеличение модифицирующей способности и "живучести" смеси.

Для обоснования преимуществ предлагаемой смеси следует рассмотреть механизм модифицирования чугуна. При введении ферросилиция в струю металла турбулентность потока при заполнении ковша равномерно распределяет присадку по объему металла. Вокруг растворяющихся частиц ферросилиция возникает значительная химическая неоднородность [1], высокое содержание кремния. Кремний по своему гомологическому электронному строению является аналогом углерода: он служит сильным донором валентных электронов по отношению к дефектной 3d-оболочке железа. Однако у кремния валентные электроны более отдалены от ядра, чем у углерода, и сильнее экранированы от него остовыми электронами. Поэтому в борьбе металлоидов углерода и кремния за химические связи с металлом железом побеждает кремний. Вокруг атомов кремния, растворённых в жидком или твёрдом железе по типу растворов замещения, образуется «углеродный вакуум». Это увеличивает скученность атомов углерода в оставшемся пространстве, что является центрами зарождения эвтектики. Таким образом, в нашем случае кремний смещает точку эвтектического превращения влево и способствует дополнительному выделению графитной фазы [2]. Расчеты показывают, что количество частиц ФС 75 в одном см³ чугуна составят 0,68 шт./см³. Это явно недостаточно, процесс образования графитовой фазы протекает в течение сравнительно короткого времени, равного времени существования пересыщенных по кремнию зон в расплаве жидкого чугуна. Поэтому для данной отливки необходимо дополнительное позднее модифицирование.

В работе [3] теоретически установлено и экспериментально подтверждено, что для достижения в отливке мелкодисперсной эвтектической структуры необходимо иметь в расплаве не менее 10⁶-10⁸ шт./см³ центров кристаллизации. Расчеты показывают, что именно такое количество частиц модификатора могут вносить модификаторы типа МК.

Качественные показатели чугуна

Номер формы	Микроструктура		HB _{5/750/10}	σ _в , МПа	δ, %
	Форма, распределение и размеры графитовых включений	Металлическая основа			
1	ШГф 3, ШГд90, ШГ2, ШГр2	Ледебурит	321–341	–	–
2	ШГф5, ШГд15, ШГ12, ШГр2	П70, (Фе30), Ц10	255–269	680	3,5
3	ШГф5, ШГд15, ШГ12, ШГр2	П55, (Фе45), Ц0	223–229	790	8,8
4	ШГф5, ШГд15, ШГ12, ШГр2	П55, (Фе45), Ц0	217	740	10
5	ШГф5, ШГд15, ШГ12, ШГр2	П55, (Фе45), Ц0	217	745	9,7
Требования по нормам FIAT-BA3 52215	Графит шаровидный, ССГ не менее 80%	Металлическая основа – ферритно-перлитная, цементит до 5%	170...229		

Таким образом, в чугун вводится большое количество дисперсных частиц графита и кремния, создающих идеальные условия для зарождения графитной фазы, так как частицы модификатора соизмеримы с фрактальными агрегатами графита [4]. Основным признаком фрактальности структуры – ее способность сохранять самоподобие в процессе эволюции в различных пространственно-временных масштабах [5]. С точки зрения диссипативных и фрактальных структур жидкий чугун находится в пространственно однородном состоянии с довольно высокой степенью симметрии. Как только начинается процесс переохлаждения, происходит обильный обмен энергией и веществом с окружающей средой, появляется избыток свободной энергии, симметрия системы нарушается и возникает диссипативная структура с более низкой степенью симметрии. Диссипативная структура, достигая в процессе эволюции системы порога неустойчивости, начинает самоорганизацию новой, более устойчивой на данном иерархическом уровне структуры. Система стремится к приобретению нового симметричного состояния и идет по пути создания фрактальной структуры. Этот момент важен, поскольку возможность получения заданной структуры наиболее высока. При формировании иерархической структуры должны иметь место управляющие параметры, которые в общем случае могут быть различными для различных иерархических уровней. Для поликристаллического материала, в котором присутствуют различные химические элементы, могут развиваться два сценария формирования структуры: при сравнимом количестве химических элементов различных групп управляющим параметром будут служить диффузионные затруднения; когда же содержание одних химических элементов будет подавляюще большим, управляющим параметром будет служить фрактальная размерность, которая и будет определять захват пространства [6].

В нашем случае, в расплав вносится множество дисперсных частиц углерода и кремния, а при модифицировании в форме и магния, что будет спо-

собствовать формированию мелкозернистой структуры серого чугуна без наличия свободного цементита. Таким образом, искусственно создается благоприятная структурная наследственность в кристаллизующемся сплаве.

Это не противоречит и термодинамике процесса. Баланс объемной и поверхностной составляющих при гетерогенном зарождении твердой фазы показывает, что общее изменение энергии $\Delta G_{\text{п}}$ для образования частички критического размера на подложке меньше гомогенного ΔG на величину $f(\alpha)$, зависящую от равновесного контактного угла α .

$$\Delta G_{\text{п}} = \Delta G \cdot f(\alpha), \tag{1}$$

где

$$f(\alpha) = [(2 + \cos\alpha) \cdot (1 - \cos\alpha)^2] : 4, \tag{2}$$

тогда

$$\cos\alpha = (\sigma_{\text{п-р}} - \sigma_{\text{г-п}}) : \sigma_{\text{г-р}}, \tag{3}$$

где $\sigma_{\text{п-р}}$, $\sigma_{\text{г-п}}$, $\sigma_{\text{г-р}}$ – удельные поверхностные энергии на границах: «графит–расплав», «графит–подложка» и «подложка–расплав».

Если в качестве подложки будет использоваться графит, то величину $\sigma_{\text{г-п}}$ можно выразить формулой

$$\sigma_{\text{г-п}} \rightarrow 2 \sigma_{\text{г-р}} \cdot \sin(\beta/2),$$

где β – угол границ, стыкующихся в поликристаллическом однородном теле.

Анализ приведенных уравнений показывает, что кристаллизация графита на углеродсодержащих включениях будет осуществляться при минимальных переохлаждениях. При этом свободная энергия образования гетерогенного зародыша намного меньше, чем гомогенного, вследст-

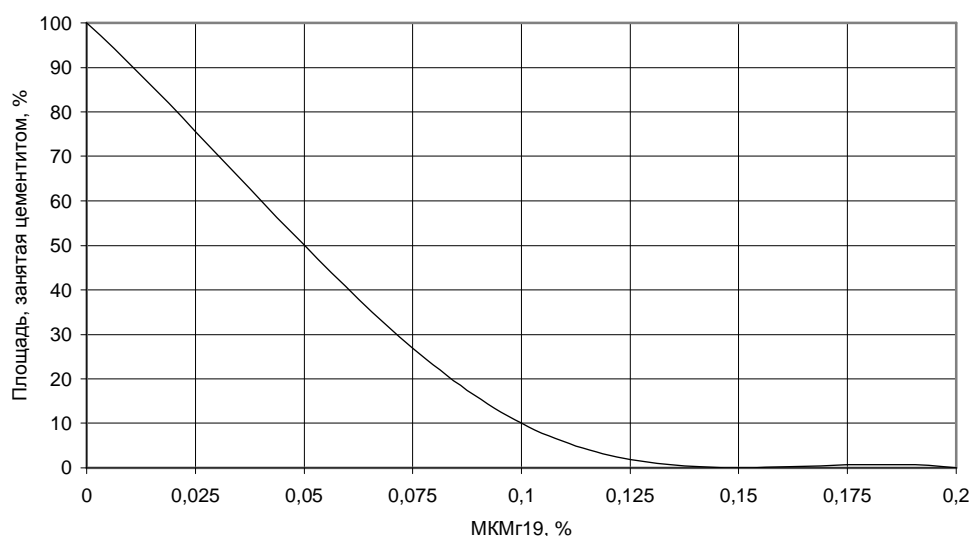
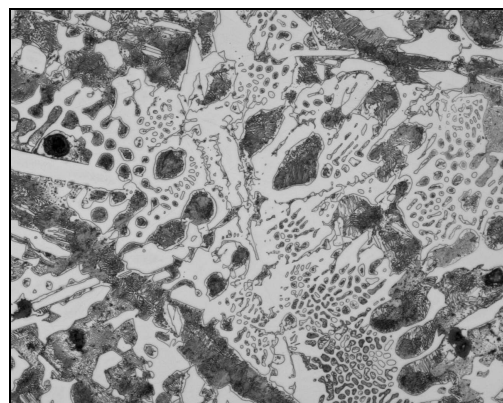


Рис. 1. Количество цементита в структуре чугуна (%) в зависимости от расхода МКМг19 (%)



×100

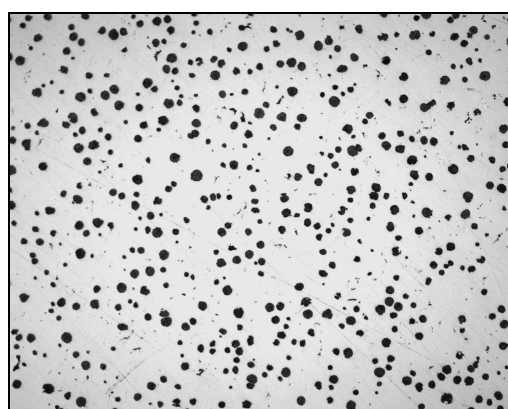
а



×400

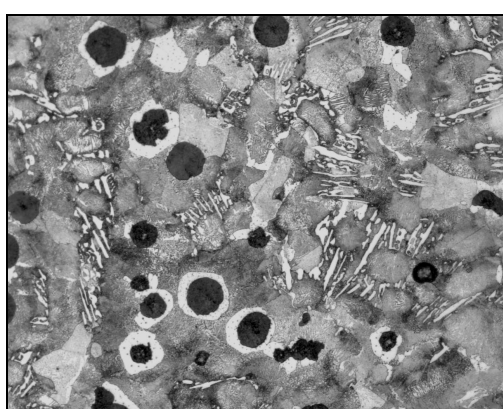
б

Рис. 2. Микроструктура не модифицированного в форме чугуна:
а – не травлено: ШГф 3, ШГд90, ШГ2, ШГр2; б – травлено: ледобурит 100%



×100

а



×400

б

Рис. 3. Микроструктура чугуна модифицированного в форме 0,1% МКМг19:
а – не травлено: ШГф5, ШГд15, ШГ12, ШГр2; б – травлено: П70, (Фе30), Ц10

вие чего переохлаждение при кристаллизации металлов в первом случае существенно (во много раз) меньше, чем во втором.

Зародышеобразующую эффективность НМВ можно оценить по трем основным критериям [7]:

1) по правилу Данкова-Конобеевского: межфазное поверхностное натяжение минимально, если кристаллические решетки двух контактирующих фаз идентичны, а по кристаллографическим параметрам отличаются не более чем на 15%;

2) по формуле Бачинского: межфазная поверхностная энергия минимальна, если разность плотностей двух контактирующих фаз минимальна;

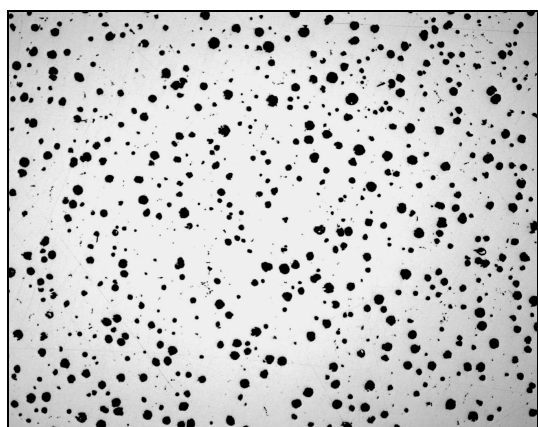
3) по однотипности (родственности) связей между атомами каждой из фаз: межфазное поверхностное натяжение минимально, если между фазами есть взаимодействие.

Все эти три правила идеально выполняются, если в качестве подложки будет сам графит. Кремний и магний также способствуют дополни-

тельному зарождению центров кристаллизации.

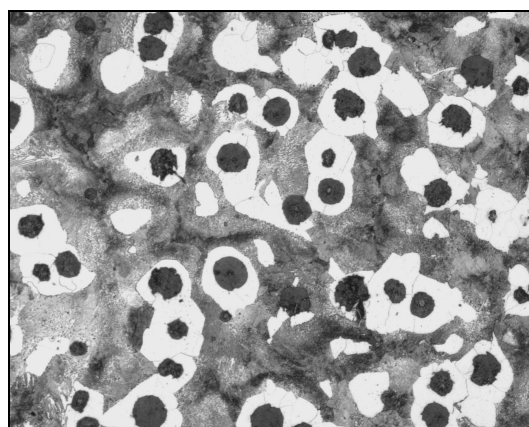
Следует отметить также, что с уменьшением размера частиц гравитационные силы все слабее контролируют кинетику системы «металл–частица», частицы совершают броуновское движение, и коэффициент их диффузионной подвижности увеличивается. Следовательно, они обладают высокой седиментационной устойчивостью. Возрастает также их термодинамическая устойчивость против растворения вследствие снижения поверхностного натяжения и повышения активности подложек. Вся открытая поверхность последних покрыта активированными атомами, защищающими частицу от контакта с расплавом и растворения [14]. Все это резко увеличивает живучесть модификатора.

Учитывая вышесказанное, предлагаемые модификаторы помогают эффективно устранять проблему отбела в отливках. Они должны обладать высокой живучестью, а количество их для снятия



×100

а



×400

б

Рис. 4. Микроструктура чугуна модифицированного в форме 0,15% МКМг19:

а – не травлено: ШГф5, ШГд15, ШГ12, ШГр2; б – травлено: П55, (Фе45), Ц0

отбела может быть существенно уменьшено, по сравнению с традиционными модификаторами.

При проведении экспериментов определили оптимальное количество модификатора МКМг19 для внутриформенного модифицирования высокопрочного чугуна на отливке 12101-3103015 «Ступица переднего колеса» из высокопрочного чугуна марки ВЧ 50. Чугун состава: С=3,60%, Si=1,97%, Mn=0,42%, P=0,019%, S=0,007%, Cr=0,045%, Ni=0,58%, Cu=0,28%, Sn=0,015% модифицировали в ковше никель-магниевого лигатурой и модификатором МК 21 в количестве 3 кг (0,25%) при температуре расплава 1490°C. Такое количество МК 21 является оптимальным для ковшевого модифицирования высокопрочного чугуна.

Температура начала разливки металла составила 1460°C при нормативе 1440...1460°C. Из ковша были залиты 5 форм (40 отливок) сразу после замера температуры. Первая форма заливалась без добавок, в стояк второй формы засыпали 65 г смешанного модификатора МКМг19, что составило 0,1% от металлоёмкости формы, в стояк третьей и четвертой форм помещали 100 и 130 г МКМг19 соответственно (0,15 и 0,2% от металлоёмкости формы) и, наконец, в пятую форму помещали кусок ферросилиция ФС75лб массой 200 грамм (0,3%) от металлоёмкости формы.

Отливки с каждой из форм анализировались на наличие отбела, изучалась микроструктура отливок. Из тела каждой заготовки вырезались образцы для изготовления проб для проведения механических испытаний. Результаты испытаний приведены в **таблице**, наглядно представлены на **рис. 1**. Микроструктура отливок показана на **рис. 2-4**.

Как видно из результатов экспериментов, графитизирующее модифицирование чугуна в ковше

модификатором МК 21 не устраняет отбел в отливках из-за их конструктивных особенностей. Вместе с тем, добавка в стояк только 0,1% МКМг19 обеспечивает соответствие предела прочности и относительного удлинения чугуна требованиям ГОСТ. При этом резко снижается количество цементита в отливках. Однако его содержание, все же, превышает допустимое значение, в результате чего оказывается завышенной и твердость. Оптимальной добавкой модификатора следует считать 0,15% МКМг. В данном случае отбел в отливках устраняется полностью и обеспечивается требуемый комплекс механических свойств.

Обработка расплава в ковше модификатором МК21 в количестве 0,25% в ковше и 0,3% 9 кг/т в литниковой чаше также исключает отбел в отливках.

Таким образом, подтверждаются теоретические предпосылки об эффективности дисперсных смешанных модификаторов и уменьшении их требуемого количества.

Ожидаемый экономический эффект от замены модификаторов составит:

$$\Delta = C_1 - C_2 = K_1 \Pi_1 - K_2 \Pi_2,$$

где C_1, C_2 – себестоимость модифицирования по существующей и предлагаемой технологии соответственно; K_1, K_2 – количество модификатора до и после внедрения, $K_1 = 9$ кг/т ФС75лб в ковш + 3 кг/т в литниковую чашу, $K_2 = 2,5$ кг/т МК21 в ковш + 1,5 кг/т МКМг19 в стояк; Π_1, Π_2 – цены модификаторов, ФС75лб – 38 руб./кг, МК21 – 25,500 руб./кг, МКМг19 – 52,500 руб./кг.

$$\Delta = (9 + 3) \times 38 - (2,5 \times 25,5 + 1,5 \times 52,5) = 313,5 \text{ руб./т жидкого.}$$

Библиографический список

1. Леках С. Н., Бестужев Н. И. Внепечная обработка высококачественных чугунов в машиностроении. Мн.: Наука и техника, 1992. 269 с.
 2. Чугун: Справочник / Под ред. А.Д. Шермана, А.А. Жукова. М.: Металлургия, 1991. 576 с.
 3. Калинин В. Т. Научные основы прогрессивных технологий модифицирования и легирования чугунов для отливок металлургического оборудования: Автореф. ... д-ра техн. наук. Днепропетровск, 1991. 17 с.
 4. Давыдов С. В. Новый подход к классификации методов модифицирования // Металлургия машиностроения. 2006. № 5. С. 5–9.
 5. Иванова В. С., Новиков В. У. К итогам симпозиума «Фракталы и прикладная синергетика» // Металлургия машиностроения. 2004. № 1. С. 33–37.
 6. Закирничная М. М. Образование фуллеренов в углеродистых сталях и чугунах при кристаллизации и термических воздействиях: Дис. ... д-ра техн. наук. Уфа, 2001.
 7. Стеценко В.Ю., Марукович Е.И. О зародышеобразовании при затвердевании металлов // Металлургия машиностроения. 2007. № 1. С. 32–37.
 8. Гаврилин И.В. Кластеры – фуллерены – фракталы в жидких литейных сплавах // Металлургия машиностроения. 2004. № 5. С. 30–33.
-

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.735.043.016.3

Железков О.С., Михайлова У.В.

ОСОБЕННОСТИ ШТАМПОВКИ ТАРЕЛЬЧАТЫХ ПРУЖИН

Интенсификация экономического развития диктует внедрение новых, более совершенных технологических процессов, современных машин и систем. Повышение экономической эффективности, комплексной автоматизации и гибкости технологий – основное направление развития технологии автомобилестроения и других видов машиностроения. Развитие машиностроения неразрывно связано с применением прогрессивных методов изготовления заготовок методами обработки металлов давлением.

Наиболее эффективны процессы, основанные на применении холодной пластической деформации, – процессы листовой и холодной объемной штамповки. Благодаря непрерывному совершенствованию технологии, конструкций штампов, используемого оборудования и средств его автоматизации листовая штамповка применяется для изготовления деталей широкого спектра размеров (от долей миллиметров до нескольких метров), разнообразных конфигураций (от простейших плоских типа шайб до сложных пространственных деталей).

Тарельчатые пружины находят широкое применение в технике для восприятия значительных сил при небольших перемещениях, в основном, для гашения динамических и ударных нагрузок (амортизаторы, буферные устройства и т.п.) [1, 2].

Тарельчатые пружины представляют собой разновидность оболочковых упругих элементов высокой жесткости. Они состоят из штампованных стальных элементов в виде конических оболочек, напоминающих тарелку с отверстием вместо дна. Основной тип тарельчатых пружин –

коническая шайба (рис. 1). Шайбы выполняют толщиной от 1 до 20 мм с отношением наружного и внутреннего диаметров тарелок $D/d=2\div 3$ и углом подъема образующей $\alpha=2\div 6^\circ$.

Заготовки тарельчатых пружин штампуются из листовой кремнистой стали (типа 60С2А) при толщине до 6 мм в холодном состоянии, а при большей толщине – в горячем состоянии. Заготовки подвергаются термической обработке и упрочнению наклепом (заневолирование до появления пластических деформаций в наружных слоях). При необходимости торцы пружины шлифуют на плоскость для образования кольцевых опорных площадок.

При изготовлении точением из цилиндрических заготовок прочность шайб резко снижается.

При приложении центральной нагрузки тарельчатая пружина изгибается. Величина прогиба обычно составляет (0,5–0,8) долей от высоты усеченного конуса. Наибольшее значение прогиба при переменном режиме нагружения не должно превышать 0,6 высоты конуса, а при статическом нагружении – 0,8 высоты конуса. Расчет жесткости и прочности таких упругих элементов выполняется методами теории тонких оболочек, а в более сложных случаях – методом конечных элементов.

Имеются различные конструктивные особенности выполнения тарельчатых пружин. Например, для увеличения податливости шайбы снабжают гофрами. Шайбы с облегчающими вырезами, звездчатые и гофрированные позволяют получить пружины, приближающиеся по податливости к цилиндрическим витым пружинам. Пружину, работающую в коррозионных средах, иногда выполняют в виде сильфонов с однослойными или многослойными стенками, изготавливаемых из тонколистовой латуни или бронзы.

Штамповку заготовок конических тарельчатых шайб осуществляют комбинированным способом [3]. Сущность комбинированной штамповки заключается в объединении нескольких операций в одном штампе, при этом объединяемые операции называют переходами. Объединяться могут: разделительные операции с разделительными (вырубка,

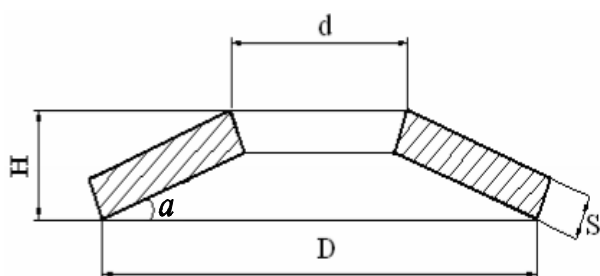


Рис. 1. Тарельчатая пружина в разрезе

пробивка), формоизменяющиеся с формоизменяющимися (первый и последующие переходы вытяжки), разделительные с формоизменяющимися (вырубка, вытяжка). Возможности объединения операций в одном штампе зависят от соотношения внешних и внутренних размеров штампуемых деталей.

Если не принимать во внимание ходы пресса, совершаемые в самом начале штамповки (число которых на единицу меньше общего числа переходов), то при последовательной штамповке независимо от числа переходов за каждый рабочий ход пресса получают готовую деталь.

Комбинированную штамповку осуществляют с использованием штампов последовательного действия и совмещенных штампов. В штампах последовательного действия рабочий инструмент (пуансон, матрица) расположен последовательно, один за другим (рис. 2). В штампах совмещенного действия – один в другом (рис. 3).

При изготовлении заготовок тарельчатых пружин с использованием штампа последовательного действия (см. рис. 2) полоса после каждого хода ползуна пресса перемещается на строго определенный шаг по переходам штамповки. При этом на первом переходе осуществляют вытяжку конуса с пробивкой отверстия диаметром d . На втором переходе вырубает заготовку тарельчатой пружины по наружному диаметру D .

Процесс изготовления заготовок тарельчатых пружин с использованием совмещенных штампов осуществляется следующим образом (см. рис. 3). Когда ползун пресса находится в верхнем положении, полоса подается в рабочую зону пресса. При движении ползуна вниз вначале пуансон 3 вырубает заготовку по наружному диаметру D , смещая полосу и съемник 1, который подпружинен относительно основания штампа, вниз. Затем пуансон-выталкиватель 5 формирует коническую поверхность шайбы, а пуансон для пробивки 4 пробивает отверстие диаметром d . При движении ползуна вверх за счет возврата сжатых пружин в исходное состояние пуансон-выталкиватель 5 снимает заготовку тарельчатой пружины с пуансона 4, а съемник 1 возвращает полосу в исходное состояние.

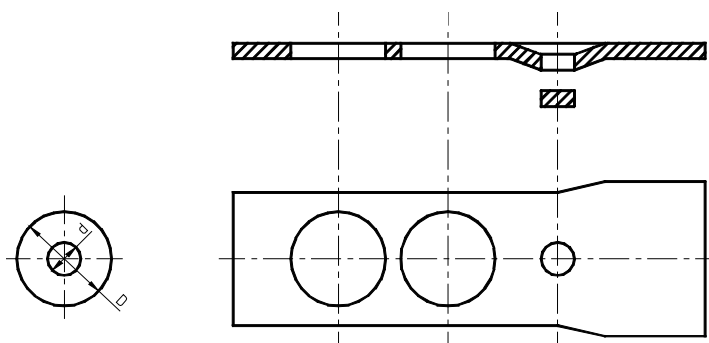


Рис. 2. Схема штамповки заготовок тарельчатых пружин с использованием штампа последовательного действия

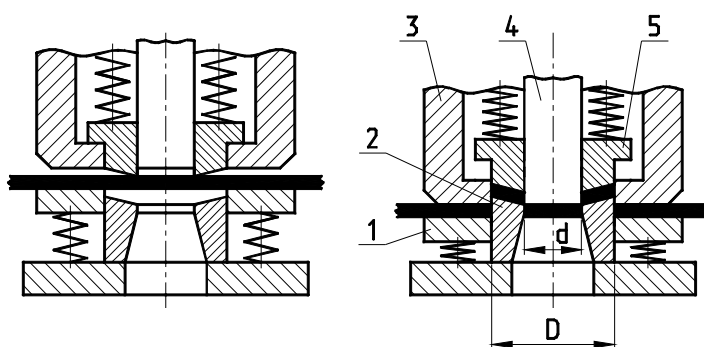


Рис. 3. Штамп совмещенного действия для штамповки тарельчатых пружин:

- 1 – съемник; 2 – матрица; 3 – пуансон вырубной;
4 – пуансон для пробивки; 5 – пуансон-выталкиватель

Производительность процессов изготовления заготовок тарельчатых пружин зависит от быстротходности пресса и практически не зависит от конструктивного исполнения штампов.

Штампы последовательного действия имеют более простую конструкцию, но для них необходимо обеспечивать точную пошаговую подачу полосы с одной позиции штамповки на другую.

Штампы совмещенного действия более компактны, чем штампы последовательного действия, их конструкция исключает возможность смещения внешнего контура штампуемой детали относительно внутреннего. Совмещенную штамповку применяют для получения деталей с малыми допусками на эксцентricность. В связи со сложностью конструкции штампов совмещенного действия трудоемкость их изготовления в 1,5–2 раза выше, чем штампов последовательного действия.

Библиографический список

1. Пономарев С.Д. Пружины, их расчет и конструирование. М.: Машгиз, 1954.
2. Дмитриев В.А. Детали машин. Л.: Судостроение, 1970. 792 с.
3. Аверкиев Ю.А., Аверкиев А.Ю. Технология холодной штамповки. М.: Машиностроение, 1989. 304 с.
4. Головин В.А., Ракошиц Г.С., Навроцкий А.Г. Технология и оборудование холодной штамповки. М.: Машиностроение, 1987. 352 с.

Девятченко Л.Д.

МНОГОМЕРНЫЙ АНАЛИЗ СООТВЕТСТВИЙ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ПРИЗНАКОВ И РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ТРУДА В ПРОКАТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В данной работе анализировались категоризованные данные готовой продукции широкополосного стана 2500 холодной прокатки ОАО ММК, производимой в условиях сменно-бригадной формы организации труда. Для измерения категорий организационно-производственных признаков использовались номинальные и порядковые шкалы. Статистические данные, представляющие собой частотные таблицы или так называемые таблицы сопряженности [1, 8], предопределили метод их обработки – анализ соответствий. Приложение в металлургии данного метода для обработки данных двухвходовых таблиц рассматривалось ранее [2].

Для многомерного анализа соответствий сбор первичной информации удобно было осуществить в формате бинарной (индикаторной) матрицы, элементами которой являются индикаторы 1 и 0, используемые для обозначения принадлежности или не принадлежности какого-либо объекта (наблюдения) к той или иной категории. В табл. 1 приведен фрагмент бинарной матрицы размера 273×16, предназначенной для изучения взаимосвязи организационных признаков (*C* – смены, *B* – бригады) на результативные признаки производства (*W* – уровни выпуска продукции, *S* – уровни брака, *N* – уровни выпуска несортной продукции). Для исследуемых признаков по результативности труда и смен использовалась трехуровневая градация, а для бригад – четырехуровневая. Общий объем многомерной выборки составил 273 смены (три календарных месяца наблюдений). Обработка данных выполнена в системе STATISTICA [4].

Индикаторная матрица – удобный формат для сбора информации, однако оказывается совершенно непригодной даже для обозрения собранного материала, особенно при большом объеме наблюдений. В многомерном анализе соответствий в качестве входного формата данных, предназначенных для обработки, используют так называемую [4] матрицу Берта (Burt table), которая представляет собой результат произведения исходной бинарной матрицы (обозначим ее X) слева на транспонированную матрицу X^T , т.е. $X^T X$ является матрицей Берта, основные свойства которой следующие:

- Матрица Берта $X^T X$ – симметричная матрица порядка m , где X – бинарная матрица размера $n \times m$, $n \gg m$, n – число наблюде-

ний, m – общее число категорий по всем K признакам.

- Ячейки матрицы $X^T X$ содержат n_{ij} частоты, вычисляемые как скалярное произведение i -строки матрицы X^T и j -столбца матрицы X .
- Квадратная матрица $X^T X$ состоит из K^2 блоков (подматриц), образующихся в результате взаимного пересечения исследуемых признаков.
- Блоки, сформированные на главной диагонали матрицы Берта, – диагональные подматрицы со следом, равным n , где n – общий объем выборки.

Для многомерного индикаторного массива, фрагмент которого дан в табл. 1, получена матрица Берта размера 16×16 (табл. 2). Массив многовходовых данных, представленный в виде матрицы Берта и предназначенный для многомерного анализа соответствий, предполагает также свободный выбор переменных и для двухвходовых таблиц сопряженности.

Матрица Берта сама по себе даже без какой-либо математической обработки представляет интерес для исследователя. Любая строка (точно как и столбец) этой матрицы дает исследователю предварительную информацию о характере влияния на данную категорию какого-либо фактора каждой категории других факторов, учтенных в данном эксперименте. Как следует из данных табл. 2, напр., для бригады *B1* (4 строка матрицы Берта) за наблюдаемый период ($n=273$ смены) было 67 выходов на работу, из них 20, 23 и 24 раза

Таблица 1

Фрагмент первичной информации в виде бинарной (индикаторной) матрицы размера 273×16

№ п/п	C			B				W			S			N		
	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0
2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0
3	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
...
272	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
273	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0

Таблица 2

Матрица Берта размера 16×16 для многомерного анализа соответствий точек-столбцов бинарной матрицы размера 273×16

	C1	C2	C3	B1	B2	B3	B4	W1	W2	W3	S1	S2	S3	N1	N2	N3
C1	91	0	0	20	21	26	24	26	30	35	31	24	36	30	27	34
C2	0	91	0	23	22	22	24	49	29	13	26	34	31	30	33	28
C3	0	0	91	24	26	20	21	16	32	43	34	33	24	31	31	29
B1	20	23	24	67	0	0	0	23	30	14	29	14	24	27	21	19
B2	21	22	26	0	69	0	0	19	21	29	28	23	18	22	21	26
B3	26	22	20	0	0	68	0	16	20	32	20	24	24	16	27	25
B4	24	24	21	0	0	0	69	33	20	16	14	30	25	26	22	21
W1	26	49	16	23	19	16	33	91	0	0	28	31	32	32	29	30
W2	30	29	32	30	21	20	20	0	91	0	32	28	31	31	28	32
W3	35	13	43	14	29	32	16	0	0	91	31	32	28	28	34	29
S1	31	26	34	29	28	20	14	28	32	31	91	0	0	33	26	32
S2	24	34	33	14	23	24	30	31	28	32	0	91	0	25	38	28
S3	36	31	24	24	18	24	25	32	31	28	0	0	91	33	27	31
N1	30	30	31	27	22	16	26	32	31	28	33	25	33	91	0	0
N2	27	33	31	21	21	27	22	29	28	34	26	38	27	0	91	0
N3	34	28	29	19	26	25	21	30	32	29	32	28	31	0	0	91

соответственно в 1, 2 и 3 смены. На эту бригаду выпадает в основном средний W2 уровень выпуска продукции (с частотой 30) и у нее чаще всего (29) самый низкий S1 уровень брака и самый низкий уровень N1 несоответствующей заказу продукции (частота 27). Для бригады B2, примерно при тех же условиях выхода на работу, наибольшая частота (29) приходится на высокий уровень W3 выпуска продукции и на низкий S1 уровень брака (частота 29), однако для нее характерен высокий уровень N3 несоответствующей заказу продукции (частота 29) и т.д.

Табл. 2 содержит 20 блоков симметричных относительно главной диагонали матрицы Берта или всего $(K^2 - K)/2 = 10$ разных двухвходовых подтаблиц (число сочетаний из K элементов по 2). Каждая из этих двухвходовых таблиц сопряженности может представлять интерес для проверки H_0 -гипотезы о независимости данной пары признаков с имеющимися у них категориями или уровнями. Для этого следует применить методику, рассмотренную ранее [2]. В качестве примера представим один из таких блоков в табл. 3 (соответствующий блок расположен в табл. 2 на пересечении 8–10 строк и 4–7 столбцов). Кстати, по свойствам матрицы Берта маргинальные частоты подтаблиц, определяемых как блок в матрице Берта, в i -строке и в j -столбце будут совпадать соответственно с диагональными (i, i) и (j, j) элементами матрицы Берта. В табл. 3 приведены частоты сопряженных признаков B и W с маргинальными частотами (нижняя строка и правый столбец соответственно).

Для проверки H_0 -гипотезы о независимости многоуровневых признаков W и B следует вычислить ожидаемые частоты $e_{ij} = \frac{n_{i0} \cdot n_{0j}}{n_{00}}$, а затем статистику $X^2_k = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{(n_{ij} - e_{ij})^2}{e_{ij}}$, где для фактора B число уровней $J=4$, а для фактора W число уровней $I=3$.

По данным наблюдаемых частот n_{ij} , приведенным в табл. 3, и ожидаемых частот e_{ij} , вычисленных при независимости признаков W и B , эмпирический критерий $X^2=21,1832$ с числом степеней свободы $k=6$, определяемых как $k=(I-1)(J-1)$.

Принимая во внимание, что на уровне значимости $\alpha=0,05$ табличное [3] значение $\chi^2_{6; 0,05} = 12,59 < X^2 = 21,183$ H_0 -гипотезу о независимости признаков W и B отвергаем и принимаем альтернативную гипотезу H_1 о значимой зависимости наблюдаемых признаков.

Декомпозиция данного X^2 -критерия представлена в табл. 4.

Данные табл. 4 показывают, что наибольший локальный вклад в отклонение от независимости, наряду с ячейкой (W_3, B_3) , дает ячейка (W_1, B_4) . Если теперь дополнить выявленные категории W_1 и B_4 противоположными категориями \bar{W}_1 и \bar{B}_4

Таблица 3

Категорированные данные по выпуску продукции и бригадной формы организации труда

Обозначенные уровни выпуска продукции	Б Р И Г А Д Ы				Сумма
	B_1	B_2	B_3	B_4	
W_1 – нижний	23	19	16	33	91
W_2 – средний	30	21	20	20	91
W_3 – высший	14	29	32	16	91
Сумма	67	69	68	69	273

Таблица 4

Декомпозиция X^2 -критерия, вычисленного по данным табл. 3

Обозначенные уровни выпуска продукции	Б Р И Г А Д Ы				Сумма
	B_1	B_2	B_3	B_4	
W_1 – нижний	0,0199	0,6956	1,9607	4,3478	7,0241
W_2 – средний	2,6318	0,1739	0,3137	0,3913	3,5107
W_3 – высший	3,1094	1,5652	3,8431	2,1304	10,648
Сумма	5,7611	2,4347	6,1176	6,8695	21,183

\bar{B}_4 , то можем построить и анализировать полученную при этом простейшую дихотомическую таблицу 2×2 , представленную в табл. 5 вместе с результатами проверки H_0 -гипотезы.

Таким образом, отклонение H_0 -гипотезы подтверждает локальный вывод о существенном влиянии бригады B_4 на низкий уровень W_1 выпуска металлопродукции. Аналогично можно подтвердить и значимость влияния B_3 на W_3 .

Из 10 блоков матрицы Берта значительный интерес представляет также блок, связывающий уровни брака и последовательности смен по времени работы (ночная, дневная, вечерняя). Напр., нужно проверить H_0 -гипотезу о незначимом влиянии работы в ночную смену ($C1$) на высокий уровень брака ($S3$).

Составим дихотомическую матрицу 2×2 , общий вид которой для наблюдаемых и ожидаемых частот приведен в табл. 6.

Комментарий к составлению табл. 6. Из объема выборки $n=273$ одинаковое число, равное 91, приходится на каждую смену, в том числе и на смену $C1$. В смену $C1$ высокий уровень брака отмечался 36 раз. Значит, в смену $C1$ не было высокого уровня брака $91-36=55$ раз – это для категории $\bar{S}3$, а также, если по всем сменам 91 раз наблюдался высокий уровень брака $S3$, то не в смену $C1$, т.е. для категории $\bar{C}1$ приходится $91-36=55$ случаев $S3$. Число случаев $\bar{S}3$, т.е. когда высокий уровень брака не отмечался при работе двух других смен $\bar{C}1$, составляет $273-91-55=127$.

Примечание. Приведенные вычисления в компьютерной программе STATISTICA [4] выполняются автоматически путем ввода в бинарную матрицу для каждого индикаторного столбца дополнительного столбца с противоположной индикацией. В результате матрица Берта в своих размерах увеличивается вдвое, т.к. каждая категория в такой расширенной матрице как бы представляется в виде дихотомического фактора (свойство присутствует и свойство отсутствует).

Итак, возвращаясь к табл. 6, отметим, что расчетное значение X^2 -статистики оказалось равным 2,303, что не позволяет отклонить H_0 -гипотезу, т.к. табличное значение χ^2 -критерия с одной степенью свободы на уровне значимости $\alpha=0,05$

Таблица 5

Двойная дихотомизация данных из табл. 3 для изоляции ячейки (W_1, B_4)

Категории	\bar{B}_4	B_4	Сумма	Комментарии
W_1	58	33	91	$X_1^2 = 8,727$; $p = 0,003$; H_0 отклонена
\bar{W}_1	146	36	182	
Сумма	204	69	273	

Таблица 6

Наблюдаемые и ожидаемые частоты таблицы сопряженности 2×2 , составленной по данным матрицы Берта

Категории	Наблюдаемые частоты			Ожидаемые частоты		
	$S3$	$\bar{S}3$	Итог	$S3$	$\bar{S}3$	Итог
$C1$	36	55	91	30,004	60,666	91,000
$\bar{C}1$	55	127	182	60,666	121,334	182,000
Итог	91	182	273	91,000	182,000	273,000

Таблица 7

Двухходовая таблица сопряженности признаков B – бригады и S – уровни брака

Категории	$S1$	$S2$	$S3$	Итоги
$B1$	29	14	24	67
$B2$	28	23	18	69
$B3$	20	24	24	68
$B4$	14	30	25	69
Итоги	91	91	91	273

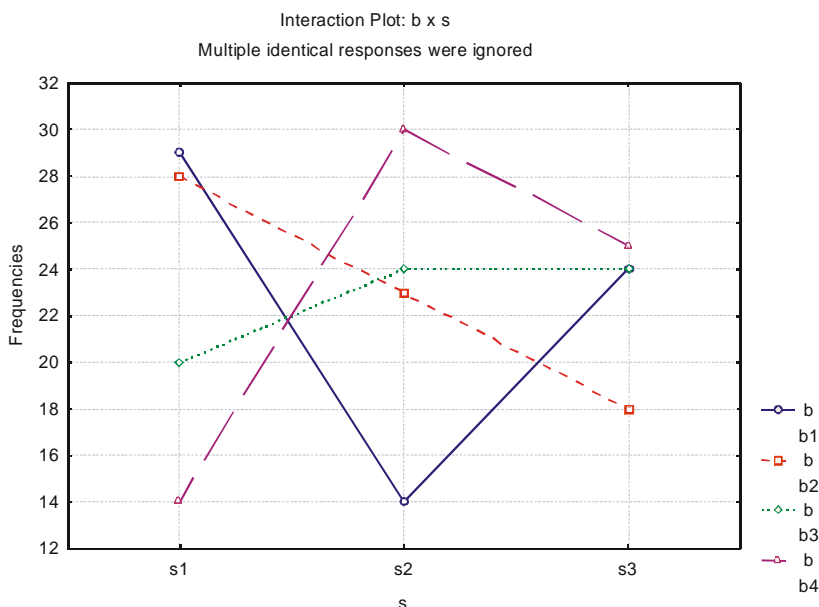


Рис. 1. Графики взаимосвязи сопряженных признаков в табл. 7

Таблица 8

Наблюдаемые частоты в таблице с тремя входами: В – бригады, W – уровни производства, С – рабочие смены

C	B	W			Всего по строкам
		W ₁	W ₂	W ₃	
C ₁	B ₁	7	9	4	20
	B ₂	7	3	11	21
	B ₃	3	8	15	26
	B ₄	9	10	5	24
Всего по столбцам		26	30	35	91
C ₂	B ₁	12	8	3	23
	B ₂	11	10	1	22
	B ₃	11	4	7	22
	B ₄	15	7	2	24
Всего по столбцам		49	29	13	91
C ₃	B ₁	4	13	7	24
	B ₂	1	8	17	26
	B ₃	2	8	10	20
	B ₄	9	3	9	21
Всего по столбцам		16	32	43	91

оказалось $\chi^2_{1; 0,05} = 3,84 > 2,303$.

Характер влияния отдельных бригад на уровни брака проявляется из данных подтаблицы (табл. 7), отвечающей блоку $B \times S$ матрицы Берта.

По частотным данным табл. 7 построены соответствующие графики (рис. 1). Наиболее очевидный вывод, который следует из визуального анализа графиков на рис. 1: точка s2 для всех бригад, кроме b2, является как бы экстремальной. В этой точке для бригад b3 и b4 средний уровень брака достигает «Мах», а для бригады b1 – «Мин», при этом только в бригаде b2 с повышением уровня брака от s1 к s3 равномерно снижается частота его появления.

Теперь перейдем от частных задач, вытекающих из двухвходовых подматриц матрицы Берта, к задачам многомерного анализа соответствий, для которого упомянутая матрица служит входным форматом при обработке данных на ЭВМ.

Если число категорированных переменных $M \geq 3$, то сразу же возникают сложности в наглядности таких таблиц, т.к. таблица с размерностью $I \times J \times \dots \times K$, где I, J, \dots, K – числа категорий для соответствующих A_1, A_2, \dots, A_M факторов, входящих в многомерную таблицу

сопряженности, физически может быть представлена только в M -мерном пространстве. В простейшем случае, когда $M=3$, таблицу можно представить в виде прямоугольного параллелепипеда со строками, столбцами и слоями, где слои – это двухвходовые таблицы сопряженности. Воспользуемся такой формой представления частот (табл. 8) для анализа влияния сменно-бригадной формы организации труда на уровни выпуска продукции.

По данным табл. 8 для проверки H_0 -гипотезы вычисляются ожидаемые частоты (табл. 9), а затем χ^2 -статистика, распределенная по ячейкам таблицы $4 \times 3 \times 3$ (табл. 10).

Бесспорно, из анализа данных табл. 8–10 следует, что H_0 -гипотеза на уровне значимости $\alpha=0,05$ отвергается, т.к. при обозначенном числе степеней свободы $df=4 \cdot 3 \cdot 3 - 1 = 35$ табличное [3] значение $\chi^2_{35; 0,05} = 49,80185 < 77,27193$.

Матрица Берта содержит пересечения каждой категории с любой другой категорией, в том числе и с их отрицанием (в случае расширения матрицы за счет дополняющих столбцов). Следовательно, если использовать метод декомпозиции χ^2 -критерия, то в каждой ячейке матрицы (i, j) -компонента χ^2 -критерия будет указывать на роль данного пересечения в формировании оценок общей сопряженности исследуемых признаков (их категорий).

В рассмотренном случае для $M=3$ признаков, когда еще не теряется наглядность за счет послынного представления двухвходовых таблиц, стано-

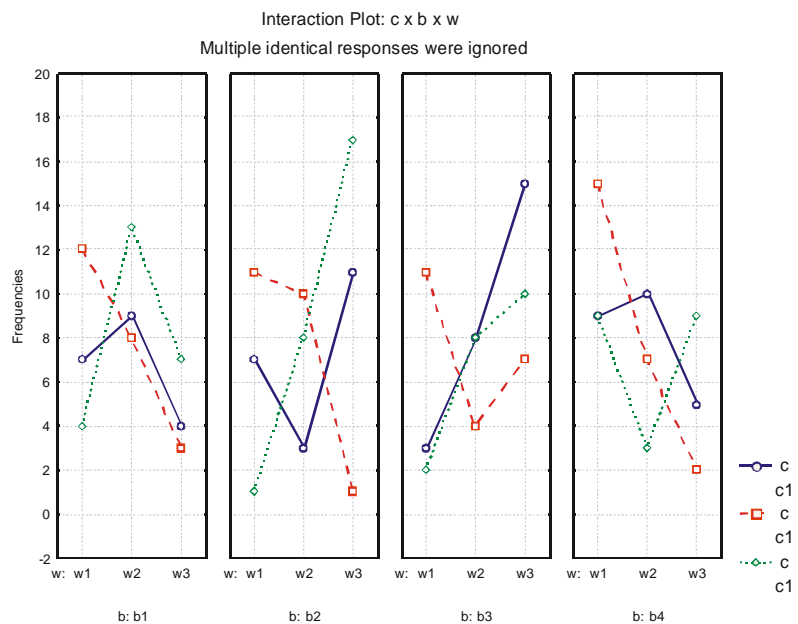


Рис. 2. Диаграммы для визуального анализа данных с тремя входами (факторы В, С и W)

вится очевидным, какие именно пересекаемые категории обеспечивают связь наблюдаемых признаков. Так, напр., данные **табл. 10** показывают, что наибольший вклад в χ^2 -статистику обеспечивает ячейка (C_3, B_2, W_3) , т.е. связь третьей смены, второй бригады и максимального уровня выпуска продукции существенно значима, значительный вклад в значимость выявляемых взаимосвязей дают ячейки (C_1, B_3, W_3) , (C_2, B_4, W_1) и др.

Какой вид имеют сформировавшиеся взаимосвязи категорированных признаков, представленных в **табл. 8**, можно наблюдать на диаграмме **рис. 2**.

Оценка связи категорированных факторов, как отмечалось выше, является первейшей задачей анализа как двухвходовых, так и многовходовых таблиц сопряженности. Отметим, что мера связи, аналогичная парному коэффициенту корреляции Пирсона, определяющая положительное или отрицательное направление этой связи, не имеет смысла для факторов, измеряемых в номинальных шкалах, но не в порядковых шкалах. В случае дихотомических факторов (также и категорий, отражающих отсутствие и присутствие конкретного свойства) мера связи, используемая в порядковой (ранговой) статистике Кендалла, Спирмена, а также Гудмена–Краскала, становится вполне приемлемой [8].

Заметим, что изучаемые категорированные факторы (см. **табл. 8** и **рис. 2**) измерены в разных шкалах: фактор В – в номинальной шкале, а фак-

торы С и W – в порядковых шкалах. Следовательно, для категорий факторов С и W можно получить оценки корреляционных связей, используя подпрограммы [4], где реализованы соответствующие алгоритмы [7, 8]. В **табл. 11** приведена ранговая корреляция Спирмена (Spearman) для блока дихотомических переменных (категорий порядковых факторов С и W), а также статистические характеристики, в частности **t(N-2)**-статистика Стьюдента и **p-level** – уровень значимости для проверки H_0 -гипотезы о независимости той или иной пары сопряженных признаков.

Как показывают данные **табл. 11**, статистически значимыми оказываются следующие пары категорий **c2 & w1, c2 & w3, c3 & w1** и **c3 & w3**, т.к. по умалчиванию значимой признается лишь *t*-статистика Стьюдента с N-2 степенями свободы, если **p-level < 0,05**. При этом обратим внимание, что две пары дихотомических переменных (**c2 & w1, c3 & w3**) имеет значимую положительную корреляцию, а две других (**c2 & w3, c3 & w1**) – отрицательную, т.е. смена **c2** является как бы «переломной».

Если принять во внимание 3-уровневую категоризацию факторов С и W, то гипотеза о существенной значимости рассматриваемых факторов подтверждается на основе χ^2 -статистики Пирсона, т.к. эмпирическое значение $X_4^2 = 34,9451 > \chi_{4; 0,05}^2 = 9,4877$ при числе степеней свободы $(3-1)(3-1)=4$ и уровне значимости

Таблица 9

Ожидаемые частоты в таблице с тремя входами:
В – бригады, W – уровни производства,
С – рабочие смены

C	B	W			Всего по строкам
		W ₁	W ₂	W ₃	
C ₁	B ₁	7,44	7,44	7,44	22,33
	B ₂	7,67	7,67	7,67	23,01
	B ₃	7,55	7,55	7,55	22,65
	B ₄	7,67	7,67	7,67	23,01
Всего по столбцам		30,33	30,33	30,33	91
C ₂	B ₁	7,44	7,44	7,44	22,33
	B ₂	7,67	7,67	7,67	23,01
	B ₃	7,55	7,55	7,55	22,65
	B ₄	7,67	7,67	7,67	23,01
Всего по столбцам		30,33	30,33	30,33	91
C ₃	B ₁	7,44	7,44	7,44	22,33
	B ₂	7,67	7,67	7,67	23,01
	B ₃	7,55	7,55	7,55	22,65
	B ₄	7,67	7,67	7,67	23,01
Всего по столбцам		30,33	30,33	30,33	91

Таблица 10

Распределение χ^2 -статистики
по ячейкам таблицы 4×3×3,
(использованы данные **табл. 7** и **8**)

C	B	W			Всего по строкам
		W ₁	W ₂	W ₃	
C ₁	B ₁	0,026021	0,327097	1,590538	1,943656
	B ₂	0,058527	2,843403	1,445750	4,347680
	B ₃	2,742053	0,026821	7,351324	10,12020
	B ₄	0,230626	0,707809	0,929452	1,867887
Всего по столбцам		3,057227	3,905131	11,31706	18,27942
C ₂	B ₁	2,794839	0,042150	2,649677	5,486666
	B ₂	1,445750	0,707809	5,800378	27,95394
	B ₃	1,445750	1,669205	0,040066	3,155021
	B ₄	7,005072	0,058527	4,191512	11,25511
Всего по столбцам		12,69141	2,477691	12,68163	27,85073
C ₃	B ₁	1,590538	4,155054	0,026021	5,771613
	B ₂	5,800378	0,014198	11,34927	17,16385
	B ₃	4,079801	0,026821	0,795033	4,901655
	B ₄	0,230626	2,843403	0,230626	3,304655
Всего по столбцам		11,70134	7,039475	12,40095	31,14177

$\alpha=0,05$. Однако ранговый коэффициент корреляции τ_K Кендалла [8], вычисленный для 3-уровневых порядковых факторов С и W, оказался, как и следовало ожидать статистически незначимым ($\tau_K=0,08839$) из-за «переломного» характера категории с2 (дневная смена). Данный факт подтвержден опять же с помощью рангового коэф-

Таблица 11

Ранговая корреляция Спирмена для исследуемого блока дихотомических переменных

	Valid	Spearman	t(N-2)	p-level
c1 & w1	273	-0,071429	-1,17887	0,239482
c1 & w2	273	-0,005495	-0,09045	0,927995
c1 & w3	273	0,076923	1,27008	0,205147
c2 & w1	273	0,307692	5,32352	0,000000
c2 & w2	273	-0,021978	-0,36189	0,717715
c2 & w3	273	-0,285714	-4,90804	0,000002
c3 & w1	273	-0,236264	-4,00271	0,000081
c3 & w2	273	0,027473	0,45243	0,651324
c3 & w3	273	0,208791	3,51460	0,000516

Таблица 12

Раздельное рассмотрение таблиц сопряженности уровней выпуска продукции W₁, W₂, W₃ для смен С₁, С₂ и С₃

Отрицательная связь рангов					Положительная связь рангов				
Уровни	W ₁	W ₂	W ₃	Сумма	Уровни	W ₁	W ₂	W ₃	Сумма
С ₁	26	30	35	91	С ₂	49	29	13	91
С ₂	49	29	13	91	С ₃	16	32	43	91
Сумма	75	59	48	182	Сумма	65	61	56	182

Таблица 13

Основные числовые характеристики, вычисленные по данным табл. 2, для многомерного анализа соответствий

Номер размерности	Сингулярные числа $\sqrt{\lambda_i}$	Собственные числа λ_i	Процент от общей инерции $I_0 = 2,2$	Кумулятивный процент инерции $\sum I_{0i}$	χ^2 -статистика
1	0,542768	0,294597	13,39078	13,3908	426,5197
2	0,512295	0,262446	11,92937	25,3201	379,9712
3	0,484770	0,235002	10,68192	36,0021	340,2378
4	0,463264	0,214613	9,75514	45,7572	310,7183
5	0,461318	0,212814	9,67338	55,4306	308,1140
6	0,444334	0,197433	8,97422	64,4048	285,8445
7	0,421788	0,177905	8,08660	72,4914	257,5725
8	0,417944	0,174677	7,93988	80,4313	252,8992
9	0,410215	0,168277	7,64894	88,0802	243,6322
10	0,385451	0,148572	6,75328	94,8335	215,1939
11	0,337139	0,113663	5,16649	100,0000	164,5618

фициента корреляции τ_K Кендалла при соответствующей группировке категорий фактора С, представленной в табл. 12.

Коэффициент ранговой корреляции τ_K Кендалла, вычисленный по данным левой части табл. 12, оказался отрицательным, $\tau_K=-0,28665$, а по данным правой части – положительным, $\tau_K=0,40133$. Асимптотическая стандартная ошибка, одинаковая для представленных в табл. 12 обоих сопряжений, равна 0,05. Следовательно, выдвинутые ранее предположения относительно наличия линейной корреляции с противоположными алгебраическими знаками подтверждены.

Таким образом, с помощью ранговой корреляции τ_K Кендалла и r_S Спирмена получена оценка не только меры связи сопряженных признаков и их категорий, но и направление действия этой связи, подобно коэффициенту корреляции Пирсона.

Следуя логике анализа двухвходовых таблиц сопряженности [1, 2], далее следует определить собственные числа и соответствующие им собственные векторы, чтобы затем отобразить исходную информацию, содержащуюся в матрице Берта, в пространство выбранной размерности [5, 9]. В табл. 13 приведены вычисленные по данным табл. 2 основные числовые характеристики для выбора и построения удобной координатной системы выполняемых многомерных преобразований.

Использование матрицы Берта в многомерном анализе соответствий не позволяет исследователю выбрать максимальную размерность для точного воспроизведения заданного M-мерного пространства для отображения его в преобразованном ортогональном пространстве по следующим причинам.

Во-первых, не следует забывать, что основной целью анализа соответствий, тем более многомерного, является *представление расстояний* между точками-столбцами, изучаемых M категорий по всем K факторам *в пространстве более низкой размерности*.

Поэтому мы не стремимся к увеличению размерности отображаемого пространства даже в ущерб информационной ценности получаемого отображения.

Во-вторых, напомним, что собственные числа λ_i $i = 1, m, m < M$, располагаемые в порядке убывания $\lambda_1 = \lambda_{\max}, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_m = \lambda_{\min}$, последовательно характеризуют долю $\lambda_i / \sum_{i=1}^{m < M} \lambda_i$ информационной ценности i-размерности отображения. Поэтому мы стремимся использовать для построения отображений только первые λ_i , более близкие к λ_{\max} .

В-третьих, в выбранном пространстве более низкой размерности в основном, пусть даже с искажением, будут сохраняться пропорции расстояний между точками-столбцами. Это позволяет в некоторой степени все же «распознать» сформированные *сгустки отдельных категорий*, пусть даже немного «размытыми» на границах их соприкосновений, в зависимости от выбираемых *i*-размерностей, используемых в ортогональных преобразованиях [6, 9].

Таким образом, размерность выбираемого пространства для отображения информации, содержащейся в матрице Берта, как правило, равна двум (реже трем) для удобства *наглядного представления* информации по сопряженности изучаемых факторов.

На **рис. 3** представлено отображение информации, содержащейся в матрице Берта (см. **табл. 2**), в двумерное пространство с координатными осями, определяемыми на основе λ_1 и λ_2 , в системе аккумулируется 25,32% инерции. При этом на **рис. 3** просматриваются немного «размытыми» сформированные 3 сгустка точек. Возможно, что эти сгустки инициируются на фоне рабочих смен, однако смены хорошо разделены только для 1-размерности, для 2-размерности они практически находятся на одном уровне. Скорее всего, формирование групп инициируется определенным уровнем выпуска продукции, а также не последнюю роль в этом играют производственные бригады.

Примем во внимание слабую крутизну убывания собственных чисел матрицы Берта, отражающей специфику взаимосвязи данных по организации производства и показателям выпуска продукции, и представим исходную информацию опять же в двумерных ортогональных пространствах, но в других ракурсах. При этом будем использовать другие варианты сочетания собственных чисел. На **рис. 4** представлено отображение, основанное на λ_1 и λ_3 , (аккумуляция 24,07% инерции), а на **рис. 5** – отображение, основанное на λ_2 и λ_3 (аккумуляция 22,61% инерции).

Сравнивая во всех представленных на **рис. 3–5** ракурсах полученную информацию о «близости» друг к другу некоторых категорий, заметим, что формирование сгустков из отдельных категорий в основном носит устойчивый характер, однако некоторые точки (см. **рис. 3–5**) все же «перескакивают» из одного сгустка в другой в зависимости от используемого преобразования. Во всех трех ракурсах двумерных пространств очень близкими всегда оказываются группы точек: (C2,B4,W1); (C3,B2); (C1,S3). К этим группам примыкают и другие точки, однако констатировать это по отдельным двумерным отображениям затруднительно.

На **рис. 6** представлено трехмерное пространство, в основе построения которого использованы максимально возможные в данном случае собственные числа λ_1 , λ_2 и λ_3 . Система, построенная на их основе, аккумулирует более 36% инерции.

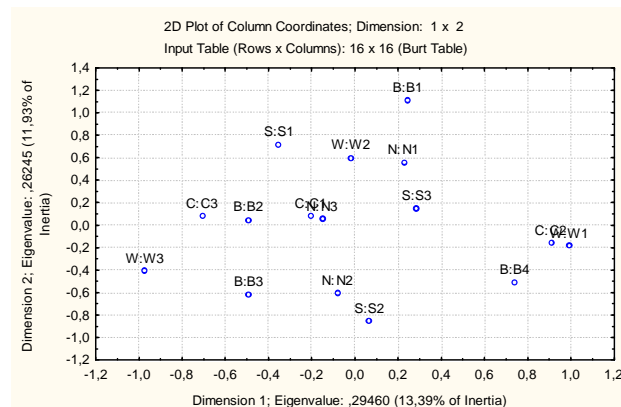


Рис. 3. Отображение исходной информации в двумерное пространство, определяемое на основе λ_1 и λ_2

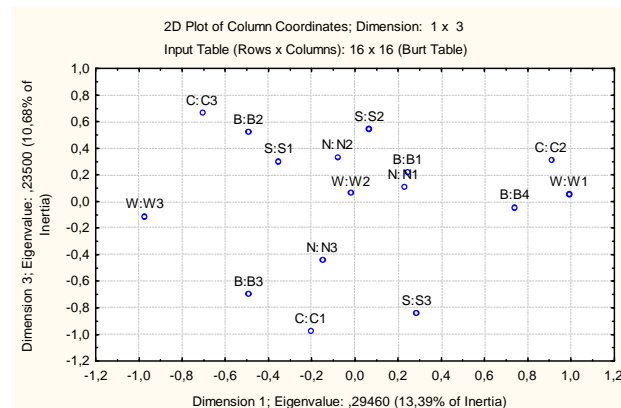


Рис. 4. Отображение исходной информации в двумерное пространство, определяемое на основе λ_1 и λ_3

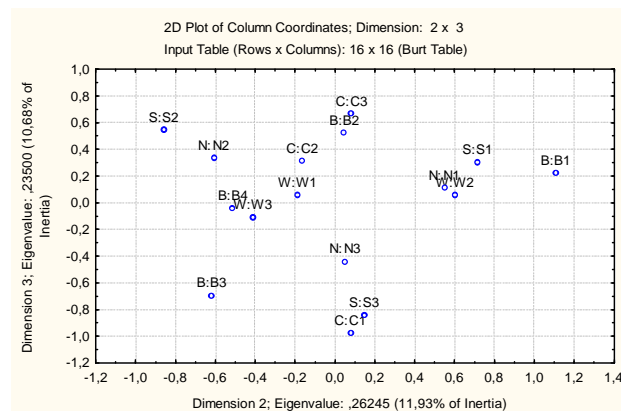


Рис. 5. Отображение исходной информации в двумерное пространство, определяемое на основе λ_2 и λ_3

3D Plot of Column Coordinates; Dimension: 1 x 2 x 3
 Input Table (Rows x Columns): 16 x 16 (Burt Table)

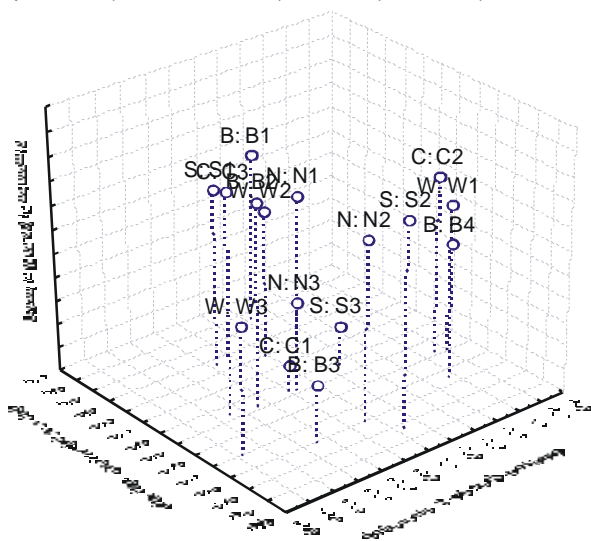


Рис. 6. Отображение исходной информации в трехмерное пространство, определяемое на основе λ_1, λ_2 и λ_3

Таблица 14

Оценка состава групп, объединяющих близкие по свойствам категории организационно-производственных признаков

Группа	Вариант формирования	Размерность	Выявляемый состав группы				
			C1,C3	B2,B3	W3		N3
Первая	λ_1, λ_2	1x2	C1,C3	B2,B3	W3		N3
	λ_1, λ_3	1x3	C1	B3	W3	S3	N3
	λ_2, λ_3	2x3	C1	B3		S3	N3
	$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$	1x2x3	C1	B3	W3	S3	N3
Вторая	λ_1, λ_2	1x2	C2	B4	W1	S2	N2
	λ_1, λ_3	1x3	C2	B4	W1		
	λ_2, λ_3	2x3	C2	B4	W1,W3	S2	N2
	$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$	1x2x3	C2	B4	W1	S2	N2
Третья	λ_1, λ_2	1x2		B1	W2	S1,S3	N1
	λ_1, λ_3	1x3	C3	B1,B2	W2	S1,S2	N1,2
	λ_2, λ_3	2x3	C3	B1,B2	W2	S1	N1
	$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$	1x2x3	C3	B1,B2	W2	S1	N1

На рис. 6 уже более четко разделяются обозначенные ранее сгустки точек, которые характеризуют сходство отдельных категорий (проявляется общность интересов, коллективная ответственность, обобщенный уровень качества работы, потенциальные, моральные, интеллектуальные возможности и т.п.), объединяемых в однородные по свойствам не пересекаемые классы. Обобщение результатов по анализу соответствий и выявлению принадлежности категоризованных

данных к определенным однородным по свойствам группам сведены в табл. 14.

Резюме по многомерному анализу соответствий. Сгустки точек, самопроизвольно объединяемых в непересекаемые классы, позволяют констатировать их схожесть, однородность присущих им свойств. В этом случае поиск меры связи уже тесно связанных категорий становится излишним.

Результаты, полученные с помощью многомерного анализа соответствий (см. рис. 6 и табл. 14), выявляют следующее:

- В условиях сменно-бригадной формы организации труда сформировались практически устойчивые 3 группы, связывающие категории признаков результативности труда (характеристики количества и качества выпускаемой продукции):
 - В смену С1 (ночную) превалирует максимальный уровень выпуска W3 продукции с максимальным уровнем некондиционной N3 и в большинстве случаев с максимальным уровнем брака S3, что наблюдается в основном в бригаде B3 (иногда в B2).
 - В смену С2 (дневную) превалирует минимальный W1 уровень выпуска продукции (изредка W3) и в основном со средними уровнями брака S2 и некондиционной продукции N2, что наблюдается в бригаде B4 (и очень редко в B1 и B2).
 - В смену С3 в основном наблюдается только средний уровень выпуска продукции W2 и низкие уровни брака S1 (изредка S2 и S3) и некондиционной продукции N1 (изредка N2), что сопутствует только бригадам B1 и чуть реже B2.
- Обнаружены значимые изменения в структуре качества труда бригад при переходе с ночной смены через дневную на вечернюю смену работы. В частности, наблюдается «перелом» (снижение – рост) по уровням выпуска продукции, при этом выпуск некондиционной и отбракованной продукции монотонно снижается.
- Для визуального анализа результатов – достигаемых уровней выпуска продукции (W1, W2, W3), а также характеристик качества выпускаемой продукции (некондиционной N1, N2, N3 и брака S1, S2, S3) по бригадам (B1, B2, B3, B4) в разные смены (C1, C2, C3) целесообразно использовать координатное пространство меньшей размерности, чем наблюдаемое многомерное пространство. При этом для уточнения выявляемых связей нелишне будет представление отображенной инфор-

мации в разных ракурсах, особенно в случаях, когда собственные числа матрицы связей изменяются практически монотонно.

- Для наиболее полного анализа информации, сосредоточенной в матрице Берта, наряду с многомерным анализом соответствий следует выполнять анализ двухвходовых таблиц сопряженности, а также простейших дихотоми-

ческих таблиц, особенно при уточнении направления связи при изучении порядковых переменных.

- Многомерный анализ соответствий может служить полезным инструментом для классификации номинальных и порядковых категорий наблюдаемых признаков.

Библиографический список

1. Аптон Г. Анализ таблиц сопряженности / Пер. с англ. и предисл. Ю.П. Адлера. М.: Финансы и статистика, 1982. 143 с.
2. Анализ сопряженности технологических нарушений и состояний аварийности на машинах непрерывной разливки стали / Л.Д. Девятченко, Л.Ш. Тимиргалеева // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2006. № 3. С. 15–23.
3. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М.: Наука, 1983. 416 с.
4. Боровиков В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. 2-е изд. (+CD). СПб.: Питер, 2003. 268 с.
5. Воеводин В.В., Кузнецов Ю.А. Матрицы и вычисления. М.: Наука, 1984. 320 с.
6. Девятченко Л.Д. Признаки классификации. Введение в дискриминантный анализ: Учеб. пособие. Магнитогорск: МГТУ, 2001. 127 с.
7. Енюков И.С. Методы, алгоритмы, программы многомерного статистического анализа: Пакет ППСА. М.: Финансы и статистика, 1986. 232 с.
8. Кендалл М., Стьюарт А. Статистические выводы и связи. М.: Наука, 1976. 736 с.
9. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности / Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. М.: Финансы и статистика, 1989. 606 с.

УДК 658.562:621.771

Румянцев М.И., Шубин И.Г., Завалищин А.Н., Корнилов В.Л., Буданов А.П., Цепкин А.С., Пантелеева Н.А.

ОЦЕНИВАНИЕ КАЧЕСТВА ТОНКИХ ГОРЯЧЕКАТАНЫХ ПОЛОС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕЩЕНИЯ ХОЛОДНОКАТАНОЙ ЛИСТОВОЙ СТАЛИ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ*

В настоящее время в мировой практике стала реальностью и продолжает усиливаться тенденция к производству тонких горячекатаных полос, часть из которых является самостоятельной товарной продукцией, а часть используется для замещения холоднокатаного металла. В типичном сортаменте холоднокатаной конструкционной стали более 30% составляют полосы толщиной 1,2–2,5 мм и выше (рис. 1, б). При этом в сортаменте широкополосных станов горячей прокатки (ШСП) доля полос толщиной 1,2–3,0 мм составляет около 58% (рис. 1, а). В качестве предпосылок указанной тенденции можно отметить повышение оперативности выполнения заказов и снижение издержек производства [1–3].

По нашему мнению [4], наиболее перспективным является применение тонких горячекатаных полос для замещения холоднокатаного листового

проката общего назначения. Анализ портфеля заказов ЛПЦ-5 ОАО «ММК» показал, что около 20% составляют холоднокатаные полосы толщиной 1,2–3,0 мм, поставляемые по ГОСТ 16523 с качеством отделки поверхности групп 2 и 3. При этом доля полос толщиной 1,5–1,8 мм составляет около 35% от этого количества (или около 7% от годового объема производства цеха), а полос толщиной 2,0–3,0 мм – примерно 50% (около 9% от годового производства) (рис. 2, а). До 80% металла в рассматриваемой сортаментной группе поставляется со свойствами категории вытяжки Г и около 16% – со свойствами категории вытяжки Н (рис. 2, б).

Для повышения объективности и достоверности оценок соответствия качества горячекатаных полос требованиям к холоднокатаному прокату разработали дифференциальные оценки единичных показателей качества, унифицированные с широко используемыми в системах менеджмента качества индексами процесса [5]:

* В работе принимали участие студентки Оплачко Т.В., Питренина М.А.

в случае регламентации качества только наибольшим допустимым значением (верхняя оценка соответствия)

$$q_{PU} = \frac{\Delta_{USL}}{3s}; \tag{1}$$

в случае регламентации качества только наименьшим допустимым значением (нижняя оценка соответствия)

$$q_{PL} = \frac{\Delta_{LSL}}{3s}; \tag{2}$$

в случае регламентации качества наибольшим и наименьшим допустимыми значениями (оценка соответствия с учетом положения среднего)

$$q_{PK} = \min(q_{PU}; q_{PL}). \tag{3}$$

В выражениях (1)–(3) $\Delta_{USL} = USL - \bar{x}$ и $\Delta_{LSL} = \bar{x} - LSL$ представляют собой допустимые интервалы варьирования показателя качества, а $3s$ – доля его фактической изменчивости, приходящаяся на допустимый интервал. В качестве точечной характеристики фактической изменчивости и соответствующего ей центра рассеяния принимаем стандартное отклонение

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \tag{4}$$

и выборочное среднее

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \tag{5}$$

В табл. 1 приведены оценки соответствия ме-

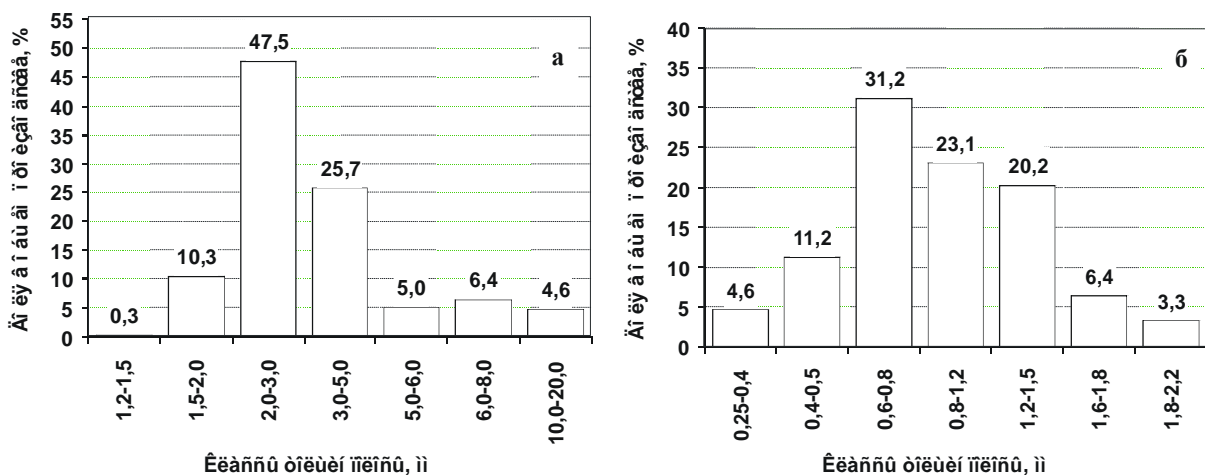


Рис. 1. Типичные распределения толщины в сортаменте ШСГП (а) и непрерывного стана холодной прокатки (б) [2]

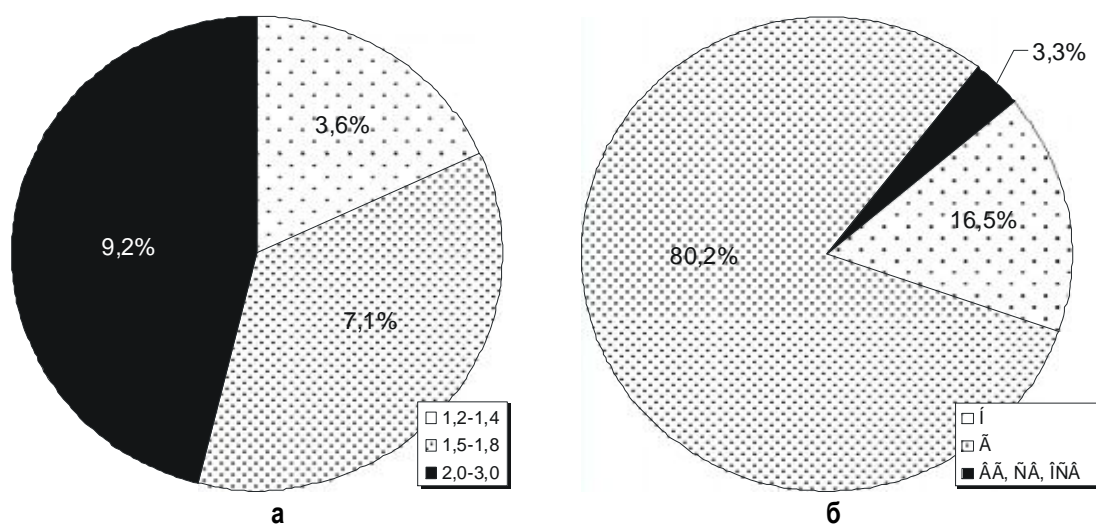


Рис. 2. Примерная структура портфеля заказов на холоднокатаную сталь общего назначения толщиной 1,2-3,0 мм: а – распределение по толщине; б – распределение по категориям вытяжки

ханических свойств некоторых горячекатаных полос текущего производства ШСГП 2000 ОАО «ММК» требованиям ГОСТ 16523 к холоднокатаной листовой стали рассматриваемой сортаментной группы.

При сравнении фактической изменчивости свойств горячекатаных полос с требованиями, ус-

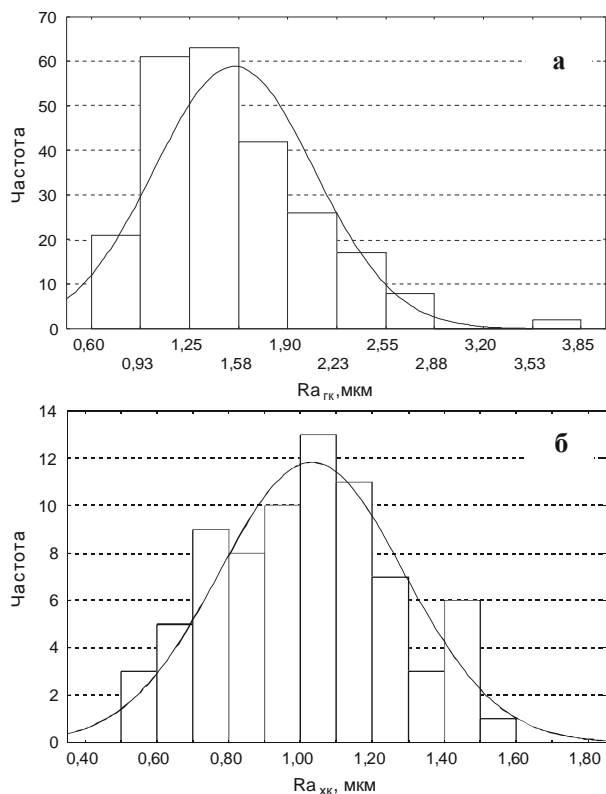


Рис. 3. Вариация шероховатости горячекатаных (а) и холоднокатаных (б) полос, поставляемых по ГОСТ 16523

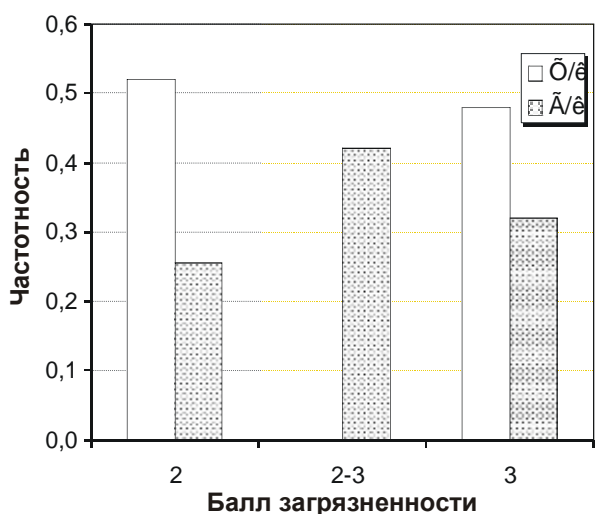


Рис. 4. Сравнение загрязненности поверхности тонких горячекатаных травленных полос и холоднокатаного проката общего назначения

тановленными для группы прочности ОК300В, видно, что центр вариации временного сопротивления практически совпадает со серединой нормативного интервала варьирования, а разброс существенно меньше, чем величина нормативного интервала. Поэтому наблюдаются отличные дифференциальные оценки механических свойств, что свидетельствует о возможности применения металла данных партий для поставок взамен холоднокатаного.

Важной характеристикой холоднокатаной листовой стали является качество поверхности. Для оценки горячекатаных полос текущего производства с данной точки зрения изучили их шероховатость и загрязненность после травления.

Сравнение шероховатости показало, что для холоднокатаного металла, поставляемого по ГОСТ 16523, параметр Ra колеблется от 0,5 до 1,6 мкм (рис. 3, б). Для горячекатаных полос (рис. 3, а) характерна вариация Ra в пределах 0,6–2,9 мкм, причем почти 75% имеют шероховатость 0,6–1,9 мкм (180 случаев из 240). В целом, можно сказать, что шероховатость горячекатаного металла текущего производства несколько больше шероховатости холоднокатаного. Однако, поскольку для холоднокатаного проката общего назначения, который подвергается нормальной и глубокой вытяжке и поставляется с поверхностью группы отделки 2 или 3, шероховатость поверхности не нормируется, отмеченные различия не являются критическими.

Таблица 1

Дифференциальные оценки соответствия качества горячекатаных полос нормам ГОСТ 16523 для холоднокатаного проката категории ОК300В

Показатель качества	Вариация				Дифференциальная оценка		
	нормативная	фактическая	\bar{x}	s	q_{PL}	q_{PU}	q
	LSL^*	USL^{**}					
1,5 мм из стали SAE 1008							
σ_{δ} , МПа	300	480	383,6	11,58	2,41	2,77	2,41
δ , %	24	–	38,24	1,027	4,62	–	4,62
1,8 мм из стали SAE 1008							
σ_{δ} , МПа	300	480	382,4	13,45	2,04	2,41	2,04
δ , %	24	–	36,28	1,21	3,39	–	3,39
2,0 мм из стали SAE 1008							
σ_{δ} , МПа	300	480	383,8	9,86	2,83	3,25	2,83
δ , %	24	–	37,55	1,97	2,29	–	2,29
2,0 мм из стали 08пс							
σ_{δ} , МПа	300	480	383,8	9,86	2,83	3,25	2,83
δ , %	25	–	34,38	1,31	2,39	–	2,39

* и ** – минимальное и максимальные допустимые значения показателя качества в соответствии с нормативным документом (нижняя и верхняя границы допуска).

При необходимости получения горячекатаного травленного проката с нормированной шероховатостью полосы могут быть дополнительно подвергнуты дрессировке.

Для оценки загрязненности горячекатаного травленного металла применили метод реплик [6]. В ГОСТ 16523 данный метод не предусмотрен, но на практике применяется в соответствии с особыми условиями поставки или техническими требованиями потребителей. Например, ОАО «КАМАЗ» заказывает холоднокатаный металл с загрязненностью поверхности не более двух баллов. Некоторые потребители из КНР оговаривают загрязненность не более трех баллов.

Установили, что загрязненность поверхности тонких горячекатаных полос, травленных в растворе соляной кислоты, не превышает 3 баллов (рис. 4). Аналогичные показатели характерны для холоднокатаного металла общего назначения, поставляемого без особых требований к качеству поверхности. Таким образом, травленные горячекатаные полосы текущего производства могут быть применены для замещения холоднокатаных общего назначения и с учетом реальной загрязненности поверхности.

Представленные результаты показывают, что в текущем производстве ОАО «ММК» находятся горячекатаные полосы толщиной 1,5–2,0 мм, которые уже сейчас могут быть использованы для отгрузки взамен холоднокатаного листового проката общего назначения, поставляемого по ГОСТ 16523. В случае необходимости дальнейшего улучшения качества горячекатаных полос в соответствии с требованиями отдельных потребителей такого металла могут быть реализованы различные технологические схемы (рис. 5). При этом использование непрерывного травильного агрегата № 1 считаем предпочтительным, так как имеющийся в его составе изгибно-растяжной окалиноломатель позволяет заметно улучшать плоскостность исходных горячекатаных полос.

Отдельного внимания заслуживает вопрос о цене горячекатаного проката, поставляемого взамен холоднокатаного. При его рассмотрении может оказаться интересным подход на основе метода балльной оценки [7], при реализации которого балл качества продукции определяется как отношение комплексных оценок горячекатаного $Q_{гк}$ и холоднокатаного $Q_{хк}$ проката. В таком случае

$$C_{гк} = C_{хк} \frac{Q_{гк}}{Q_{хк}}, \quad (6)$$

Библиографический список

1. Бобих П., Борси Р., Ротти М. Тенденции развития технологии и оборудования для производства высококачественной полосовой стали // Труды III конгресса прокатчиков. М.: Черметинформация, 1999. С. 55–58.

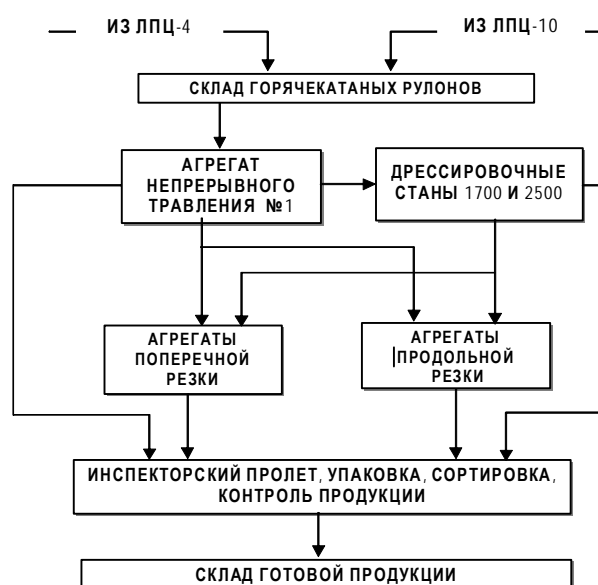


Рис. 5. Возможные схемы производства тонких горячекатаных полос для замещения холоднокатаных общего назначения

Таблица 2

Комплексные оценки и балл качества тонких горячекатаных полос и холоднокатаного проката общего назначения

Полоса	$Q_{гк}$	$Q_{хк}$	$Q_{гк} / Q_{хк}$
08пс 2,0 мм	1,41	1,67	0,84
SAE 1008 1,5 мм	2,61	2,83	0,92
SAE 1008 1,8 мм	2,04	2,43	0,84
SAE 1008 2,0 мм	2,06	2,23	0,92

где $C_{гк}$ и $C_{хк}$ – цена горячекатаного и холоднокатаного проката соответственно.

В табл. 2 приведены комплексные оценки и балл качества для горячекатаных полос, дифференциальные оценки качества которых приведены в табл. 1.

Комплексные оценки определяли как средние арифметические, а показатели весомости – методом рангов с применением экспертного опроса.

Как видно из табл. 2, балл качества горячекатаных полос составляет 0,8–0,9. Таким образом, цена горячекатаного проката при поставках взамен холоднокатаного общего назначения может быть установлена лишь на 20% ниже цены продукции данной сортаментной группы.

2. Новейшая технология производства горячекатаной полосы / В. Бальд, Г. Кнеппе, Д. Розенталь и др. // МРТ. 2000. С. 26–41.
3. Ганжин В., Киселёв Ю. Технология XXI века. Перспективы России // Национальная металлургия. 2003. № 1. С. 77–85.
4. Получение горячекатаной полосы со свойствами холоднокатаной / А.Н. Завалишин, М.И. Румянцев, М.В. Дегтярев и др. // Материалы 64-й науч.-техн. конференции по итогам научно-исследовательских работ за 2004–2005 гг.: Сб. докл. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. Т. 1. С. 75–79.
5. Румянцев М.И., Цепкин А.С., Оплачко Т.В. Унифицированный подход к расчету дифференциальных оценок при квалиметрическом оценивании качества проката // Вестник МГТУ. 2007. № 3. С. 61–64.
6. Горбунов А.В. Метод оперативного контроля загрязненности поверхности // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: Сб. науч. тр. аспирантов и соискателей. Магнитогорск: МГТУ, 2000. С. 62–68.
7. Любушин Н.П. Анализ финансово-экономической деятельности предприятия. М.: Юнити, 2004. 471 с.

УДК 621.771.074: 621.771.25.002.237

Тулупов О.Н., Ручинская Н.А., Моллер А.Б., Лимарев А.С., Луценко А.Н.

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ СОРТОВОГО ПРОКАТА ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПРЕДУПРЕЖДАЮЩИХ ДЕЙСТВИЙ ПРИ НАСТРОЙКЕ СТАНОВ

При переходе к технологическим процессам нового поколения (в частности, к новым процессам производства сортового проката) существует проблема эффективного использования текущих данных для формирования структурированной информации, позволяющей принимать рациональные решения в области управления качеством технологических процессов и качества продукции.

Современные подходы к СМК определяют возможность и необходимость принятия обоснованных решений в области качества на базе достоверной информации – согласно одному из принципов менеджмента качества по ИСО 9000:2000 «Принятие решений, основанное на фактах» [1]. Этот принцип может реализоваться [2], если предприятие на постоянной основе будет осуществлять следующие виды деятельности:

- вести измерение и сбор данных и информации по всем основным процессам;
- обеспечивать точность, надежность и доступность данных и информации;
- уметь анализировать данные и информацию с помощью эффективных методов.

Современные подходы к управлению качеством предполагают всестороннее использование значимой информации для проведения предупреждающих действий. Поэтому необходимо выработать модели и алгоритмы, позволяющие на основании анализа текущих данных корректировать технологические и производственные процессы еще до того момента, когда может возникнуть ухудшение каких-либо показателей качества продукции. Так, в частности, п. 8.5.3 «Предупреждающие действия»: Организация должна предпринимать предупреждающие действия, направленные на устранение причин потенциальных несоот-

ветствий для того, чтобы избежать появления несоответствий. Предпринимаемые предупреждающие действия должны соответствовать степени воздействия потенциальных проблем [3].

В связи с техническим и технологическим перевооружением производства сортового проката на многих предприятиях России, а также строительством новых современных мини-заводов, данная проблема с точки зрения управления качеством сортового проката является особенно актуальной. Для ее решения авторы статьи использовали структурно-матричный подход [4], позволяющий систематизировать данные, информацию и порядок действий при создании баз данных, а также разработать структурно-матричные модели определенных объектов сортопрокатного производства (технологических схем сортовых станов) и на их основе разработать соответствующие функциональные элементы системы управления качеством, основанные на применении корректирующих и предупреждающих действий в технологическом процессе.

Важным достоинством структурно-матричного подхода является достаточно широкий опыт его применения для моделирования технологических схем производства сортового проката и решения технологических задач, как, например, задач настройки клетей сортового стана при изменении параметров заготовки, износе калибров, переточках валков, изменениях температуры и марочного сортамента сталей [4]. Это позволяет более эффективно использовать его, применяя процессный подход, то есть разработать эффективную модель технологического процесса для работы в условиях современной СМК, позволяющую, в свою очередь, создать эффективную систему предупреждающих воздействий для

технологического процесса, вводя корректировки не по факту возникновения отклонений, а предупреждая возникновение отклонений.

Структурно-матричный подход при описании процесса сортовой прокатки на стане (процесс получения профиля с заданными качественными геометрическими параметрами) представляет собой последовательность процессов формоизменения в каждом проходе с возможными кантовками между ними. Поэтому, согласно принципам построения адаптивных структурно-матричных моделей, изложенных в работе [4], для разработки цифровой модели формоизменения на стане необходимо имеющимся технологическим операциям поставить в соответствие их матричное представление, связав отдельные математические объекты, описывающие калибры, в единую систему.

Структурно-матричный подход предполагает описание прокатки в клетки матрицей технологических изменений. Тогда технологический процесс прокатки в непрерывных группах описывается набором состояний $[A]_{i=0...n}$, охватывающих состояние профиля от исходного ($i=0$) до конечного ($i=n$), и связанными между собой матрицами технологических изменений $[I]_{i=1...n}$.

$$[I_1] \quad [I_2] \quad [I_i] \quad [I_{i+1}] \quad [I_n] \\ [A_0] \Rightarrow [A_1] \Rightarrow \dots \Rightarrow [A_i] \Rightarrow \dots \Rightarrow [A_n]. \quad (1)$$

Согласно работе [4], сечения раската в калибрах могут быть представлены множеством векторов n -мерного пространства (принимая во внимание взаимную симметрию секторов калибра для простых профилей, описывается только 1/4 всего сечения при количестве базисных радиус векторов $n=10$).

На действующих сортовых станах постоянно возникают технологические задачи настройки стана на различные условия прокатки (регулировка величины зазоров между валками и скорости привода в

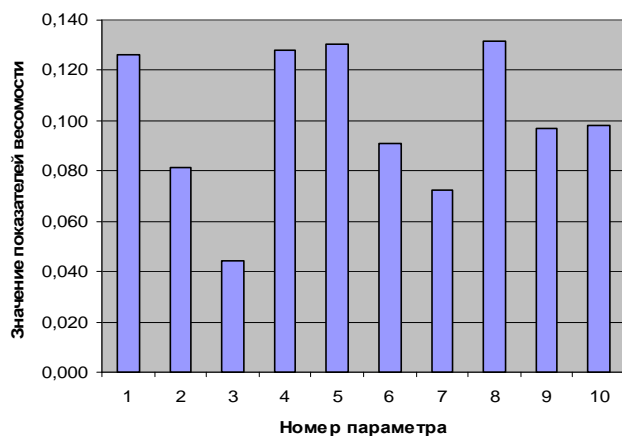


Рис. 1. Результаты определения весомости параметров, влияющих на точность профиля

клетях) с целью постоянного обеспечения заданной точности (качества) профиля и недопущения его отклонений от нормируемых параметров.

На практике текущую настройку стана (при предварительной настройке на прокатку определенного профиля) осуществляют при следующих изменениях и отклонениях:

- замена валков в определенных клетях на валки меньшего или большего диаметра (валки с разным количеством переточек);
- изменение (отклонение) температуры нагрева заготовки от заданной;
- переход на прокатку того же профиля, но из другой марки стали;
- текущий износ калибров, происходящий постепенно в каждом калибре в зависимости от количества (тоннажа) прокатанного в нем металла.

В большинстве случаев, несмотря на непосредственное влияние перечисленных факторов на качество (точность профиля), вся настройка (подстройка) осуществляется интуитивно опытными вальцовщиками, не имеет четкой методики и недостаточно отражена в нормативных документах и технологических инструкциях. Именно по этим причинам могут возникать различного рода несоответствия продукции.

Стандартизованное понятие «предупреждающее действие» определено как действие, предпринятое для устранения причины потенциального несоответствия [1].

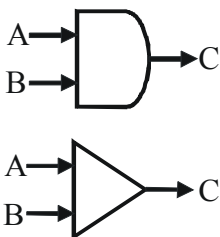
Согласно требованиям, предъявляемым к СМК, необходимо планировать деятельность по предупреждению потенциальных несоответствий. Такие несоответствия, в частности несоответствие геометрических размеров профиля требуемым, могут возникнуть при изменении любого из вышеописанных факторов. Для предотвращения появления этого потенциального несоответствия необходимо провести анализ возможностей избежания несоответствия и разработать четкую методику настройки стана, систематизировать и обеспечить эффективность этих действий.

Для этого применим один из статистических методов управления качеством – ФТА (Fault Tree Analysis – **Анализ дерева отказов**), который является одним из наиболее часто используемых методов анализа надежности, безопасности и работоспособности систем. Это дедуктивная процедура, используемая для выявления отдельных комбинаций отказов оборудования, систем управления и ошибок людей, которые могут привести к нежелательным последствиям для системы в целом (такие события называют событиями верхнего уровня). Анализ начинают с предположения о нежела-

тельном итоговом событии, исходя из которого затем пытаются выявить конкретные причины, вызывающие такой результат (элементы второго и т.д. уровней). Делают это путем построения **логической диаграммы ФТА** («Дерево отказов»), используя базовые символы – логические ворота двух видов:

1) ворота «И» показывают, что выходное событие имеет место только тогда, когда происходят все входящие события;

2) ворота «ИЛИ» показывают, что выходное событие происходит, если происходит хотя бы одно из входящих событий.



Завершив построение, оценивают (по возможности) вероятность возникновения всех событий самого нижнего уровня и, двигаясь снизу вверх, рассчитывают статистическую вероятность возникновения интегрального отказа верхнего уровня.

Для построения логической диаграммы ФТА и оценки параметров, влияющих на точность профиля в процессе прокатки, была определена номенклатура технологических параметров и проведен опрос экспертной группы, состоящей из семи специалистов. Оценка проводилась по десятибалльной шкале (табл. 1). Оценивали те параметры, влияние которых можно компенсировать настройкой стана, то есть за счет определенных предупреждающих действий.

Результаты экспертной оценки (рис. 1) показали, что основными (более весомыми) параметрами,

влияющими на точность профиля, являются: пластические свойства стали (марка стали, предел текучести), температура заготовки и диаметр валков. Влияние износа валков (калибров) на точность профиля, в принципе, тоже является причиной для настройки стана, но для того, чтобы компенсировать износ, необходимо большое количество данных о профиле изношенных калибров, поэтому вопросы управления качеством при износе калибров являются темой отдельного исследования и в данной работе не рассматриваются.

Дополнительно экспертам был задан вопрос о степени влияния точности раската на точность готового профиля на непрерывном стане в различных точках технологической схемы:

- профиль в первых черновых клетях;
- профиль в равноосных калибрах;
- профиль в неравноосных калибрах;
- профиль в последних клетях непрерывных групп;
- профиль в предчистовой клетке.

Большинство экспертов сошлись во мнении, что больше всего на точность готового профиля влияет точность профиля в последних клетях непрерывных групп (коэффициент весомости 0,142), по сравнению, например, с точностью профиля в неравноосных калибрах (коэффициент весомости 0,037) или в первых черновых клетях (коэффициент весомости 0,054).

Учитывая данные экспертного опроса, диаграмма ФТА для такого нежелательного события, как «отклонение геометрических размеров профиля» при прокатке, представлена на рис. 2.

Согласно ИСО 9001, желаемый результат достигается эффективнее, когда деятельностью и соответствующими ресурсами управляют, как процессом. Используя принцип процессного подхода, опишем подпроцесс «Управление настройкой (подстройкой) стана» процесса «Управление технологическим процессом», построив модель процесса (табл. 2).

Модель процесса – это диаграмма потока, сопровождающаяся таблицей.

Для поддержания технологического процесса в управляемом состоянии в технологическую инструкцию было предложено внести дополнения в виде *таблиц предупреждающих действий*. Таблицы ПД представляют собой четкую методику настройки (подстройки) стана, т.е. совокупность систематизированных данных и порядок действий ответственного лица, и должны использоваться в режиме on-line, если возникнет какое-либо отклонение при настройке стана, которое может привести к возникновению потенциального несоответствия геометрических размеров профиля требуемым размерам.

Таблица 1

Оценка экспертами параметров по десятибалльной шкале

Параметр	Номер эксперта							ΣRe
	1	2	3	4	5	6	7	
1 Пластические свойства стали	8	9	9	10	9	8	9	62
2 Жесткость клетей	6	5	6	6	6	5	6	40
3 Скорость прокатки	3	3	4	2	3	3	4	22
4 Температура заготовки	9	9	10	9	9	8	9	63
5 Износ калибров	10	9	9	8	9	9	10	64
6 Состояние (изношенность) проводковой арматуры	6	6	7	6	6	7	7	45
7 Конструкция проводковой арматуры	5	6	5	4	6	5	5	36
8 Диаметр валков	9	10	9	9	10	9	9	65
9 Точность геометрических размеров заготовки	7	8	6	7	6	7	7	48
10 Схема калибровки (калибровка валков)	8	7	8	6	7	7	6	49
ΣRj	71	72	73	67	71	68	72	494

Для системного решения задачи определения рациональных предупреждающих действий на основе структурно-матричного подхода разработаны новые **показатели соответствия профиля**.

Определим понятие «точность» и его применение с точки зрения управления качеством сортового проката при помощи предупреждающих действий.

Под **точностью профиля** будем понимать соответствие геометрических размеров (толщины, ширины, овальности) профиля заданным параметрам с заданной погрешностью.

Под **точностью прокатки** будем понимать соответствие технологических параметров процесса прокатки, а также параметров промежуточных сечений раската таким значениям, при которых обеспечивается точность профиля.

Сечения раската в калибрах представлены множеством векторов n-мерного пространства (принимая во внимание взаимную симметрию секторов калибра для простых профилей, описывается только 1/4 всего сечения при количестве базисных радиус-векторов n=10). Формоизменение в каждом из калибров описывается матричным уравнением, отражающим изменение длины каждого радиус-вектора при формоизменении:

$$[b] = [A] \times [a]. \quad (2)$$

Из анализа процесса прокатки видно, что величина вектора b_i , описывающего сечение, выходящее из i-й клетки, зависит от процесса формоизменения в i-й клетке стана и при отсутствии натяжения может корректироваться только в результате изменения межвалкового зазора по клеткам, что позволяет компенсировать, например, влияние износа калибров на форму профиля. Профиль износа согласно [2] легко может быть аналогично описан соответствующим вектором.

При разработке новых методов управления качеством продукции сортопрокатного производства могут быть использованы следующие показатели: РОП, ИОП, ПСП.

РОП – Распределенное отклонение профи-

ля (его геометрических размеров) характеризуется разностью длин векторов до изменения параметров и после него в любой клетке стана.

$$РОП = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_9 \\ b_{10} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} b'_1 \\ b'_2 \\ \vdots \\ b'_9 \\ b'_{10} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ \Delta b_9 \\ \Delta b_{10} \end{bmatrix} \quad (3)$$

где b_i – векторы до изменения параметров; b'_i – векторы после изменения параметров.

ИОП – Интегральное отклонение профиля.

$$ИОП = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{10} (b_i)^2} - \sqrt{\sum_{i=1}^{10} (b_i - b'_i)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{10} (b_i)^2}} \times 100\% . \quad (4)$$

При прокатке в калибрах особую важность имеет получение профиля с точно соответствующими требованиям стандартов геометрическими параметрами. При этом само понятие «соответствия профиля» не определено и не формализовано, что не позволяет оценивать соответствие численно и сравнивать соответствие профилей различной формы. Для этого предложено описать оценку соответствия профиля через показатель ПСП.

ПСП – Показатель соответствия профиля – показатель, отражающий попадание ИОП в нормируемый диапазон.

Используя перечисленные показатели, можно при помощи модели настройки стана [4] определять, соответствует ли профиль в последней клетке каждой группы клеток заданным требованиям по геометрическим размерам и требуется ли настройка конкретной группы клеток.

Для каждого объекта (стана) можно при помощи известной математической модели настройки [4] спрогнозировать диапазоны значений показателя точности ИОП в некоторых технологических точках стана при изменении технологических параметров. Эти точки и параметры были определены при помощи экспертного опроса.

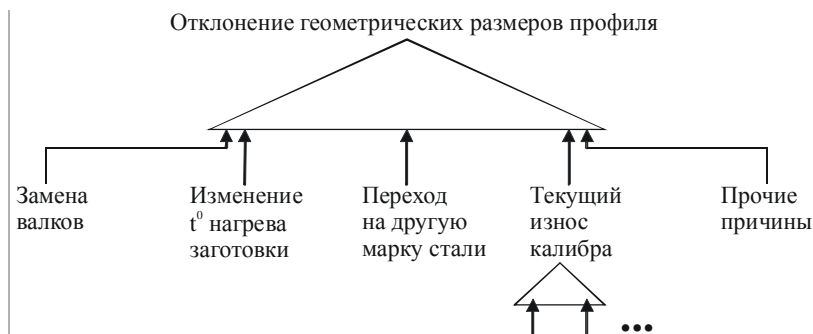
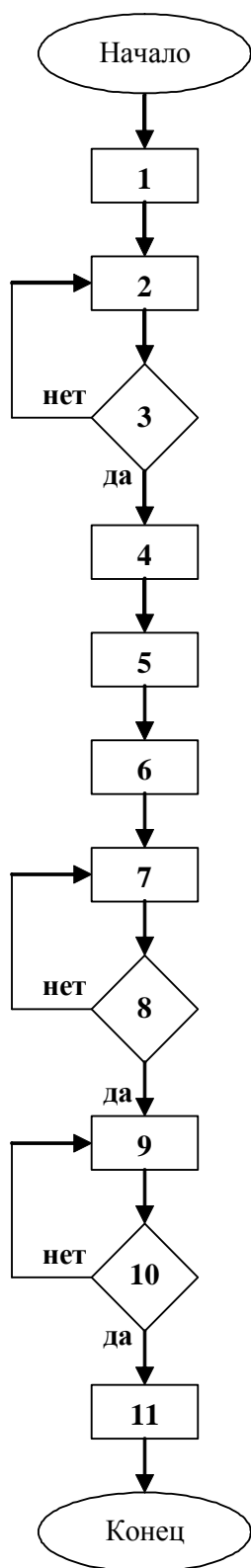


Рис. 2. Вершина «Дерева отклонений геометрических параметров»

Таблица 2

Модель подпроцесса «Управление настройкой (подстройкой) стана для предотвращения появления потенциальных несоответствий»



№ п/п	Действие	Исполнитель	Документы, подтверждающие выполнение действия
1	Определение главных характеристик и главных параметров подпроцесса	ТО	Перечень главных характеристик и параметров
2	Разработка дополнений ТИ (таблицы ПД)	ТО	Дополнения (разраб. бланки таблиц ПД)
3	Согласие подтверждено?		
4	Утверждение дополнений ТИ и ревизия действия документов	ТО	ТИ с утвержденными дополнениями (заполненные таблицы ПД), отривизированная документация
5	Передача таблиц ПД на рабочие места	ТО	Таблицы ПД (копии)
6	Оформление рабочих мест необходимой документацией	Ст. мастер участка	Таблицы ПД или выписки из ТИ
7	Проработка с персоналом правил использования таблиц ПД для обеспечения статуправляемости процесса, своевременное принятие ПД	Мастер участка	Результаты экзамена (контроля правильности понимания таблиц ПД)
8	Правильность ведения подпроцесса настройки стана подтверждена?		
9	Анализ особых причин изменчивости подпроцесса настройки стана и принятие мер для их предупреждения	Мастер, технолог	Журнал ПД, КД
10	Статуправляемость достигнута?		
11	Удержание подпроцесса в статуправляемом состоянии и передача продукции внутренним (внешним) потребителям с показателями в контрольных пределах требований	Производствен. персонал	Индексы пригодности более 1,0

ТИ – технологическая инструкция, ТО – технологический отдел, ПД – предупреждающие действия, КД – корректирующие действия

Для моделирования нужно изменять значения технологических параметров и смотреть, как изменяются показатели точности. На основании этого можно определить допустимые диапазоны показателей в этих точках (точность прокатки), которые обеспечивают заданную точность готового профиля.

После расчетов показателей ИОП для наглядности представления их и «диапазона соответствия» (т.е. диапазонов положительного и отрицательного ПСП) воспользуемся графическим инструментарием. Для этого введем понятие «Модельной карты», которая создана по подобию такого статистического метода, как «Контрольная карта».

Модельная карта – графическое представление **точности прокатки** при моделировании, показывающее нанесённые значения показателя ИОП и контрольное (“пограничное”) число, характеризующие границу между «положительным» и «отрицательным» значением показателя соответствия профиля (ПСП) (рис. 3).

Рассмотрим методику структурирования информации и создания баз данных, а также основные принципы адаптации и использования структурно-матричной модели для разработки предупреждающих действий при настройке непрерывной группы клетей сортового стана.

Процедура адаптации основана на следующих допущениях:

- Основными факторами, влияющими на точность прокатки, являются форма калибров, температура прокатки, марка стали, диаметры валков.
- Основным способом повышения точности прокатки является регулировка зазоров в калибрах.
- Расчет настройки калибров ведется против хода прокатки, по условию выполнения профиля на выходе из последней клетки подгруппы. Точность расчета зазора составляет 0,1 мм.
- Настройка осуществляется преимущественно неравноосными калибрами, преобладающее

влияние которых на точность прокатки известно из литературных и практических данных [4].

Диаметры валков учтены в модели через максимальное и минимальное значения. Изменение диаметров можно описывать не в миллиметрах, а через переточки, величина и количество которых регламентированы технологической инструкцией. Это позволяет упростить эксплуатацию модели на стане.

Пластические свойства стали учтены через базовый предел текучести. При этом в модель включены значения предела текучести для всех прокатываемых марок.

Изменение температуры прокатки, согласно используемой модели настройки, можно определять с использованием методики [4].

Характеристики износа калибров могут быть учтены в модели на основании статистических исследований профиля валков через матрицы износа, подробно характеризующие геометрию формы изношенного калибра [4].

На основании моделирования формируются таблицы предупреждающих действий, отражающие необходимые для обеспечения точности прокатки изменения межвалковых зазоров при различных изменениях технологических параметров.

Таблицы ПД состоят из следующих блоков столбцов (табл. 3):

1-й столбец – наименование технологического параметра. Так как изучалось влияние и изменение только трех параметров, то в каждой таблице столбец носит одно из следующих названий: «Температура», «Предел текучести» или «Количество переточек валков».

2-й, 3-й (4-й) блок столбцов – «Номер подгруппы клетей». Каждый из блоков разбит на количество столбцов, равное количеству клетей в подгруппе с их цифровым или буквенным обозначением.

У каждого из рассматриваемых параметров имеется базовое значение, при котором настройку стана производить не требуется (например: $T=1100^{\circ}\text{C}$; $\sigma_t=10 \text{ кг/мм}^2$; количество переточек =0). При изменении базовых значений клетки необходимо настраивать, т.е. изменять зазор между валками. Информация о размере изменений зазоров по клетям (мм) при изменении на входе в процесс какого-либо (из трех анализируемых) технологического параметра и является содержанием таблиц ПД.

Задача разработки таблиц ПД для настройки клетей была

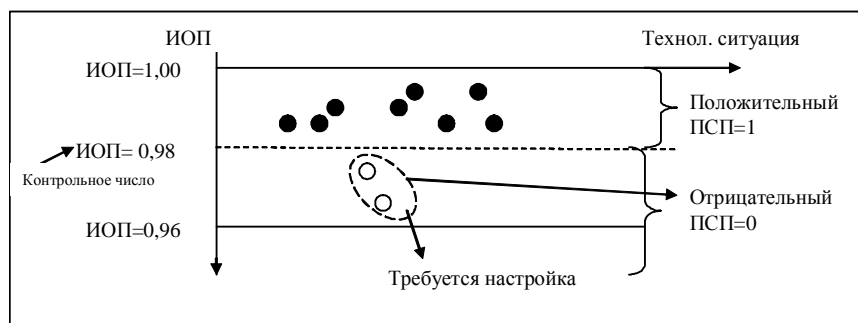


Рис. 3. Общий вид Модельной карты

Таблица 3

Таблица ПД при прокатке Ø5,5мм на стане 150

Температура, °С	1 группа изменение зазора								2 подгруппа изменение зазора							3 подгруппа изменение зазора									
	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22				
1000	-0,1	-0,1	0,3	-0,1	0,3	-0,1	0,3	-0,2	0	-0,2	0	0	-0,1	0	0,2	0	0,2	0	0,2	-0,1					
1000		-							-						2,9										
1000			-							-						-0,6									
1000				-							-0,7						1,9								
1000					-							-0,7						-0,3							
1000						-							-0,1						1						
1000							-		0		0		-0,1							-0,1					
1000								-0,3		0,8		-0,7		0		0		0		-0,1					
1000		-0,1		-0,1		-0,1		-0,2			-0,4	-0,4			0,7		0,7		0,8						
1000	0		4,2		4,3		4,1		0			0	-0,1			0			0,2	-0,1					
1050	0	0	0,2	0	0,2	0	0,2	-0,1	0	0	0	-0,1	-0,2	0	0,2	0	0,2	0	0,2	-0,1					
1050		-							-0,4					-0,6											
1050			-							2,9					1,8										
1050				-							-0,2					-0,3									
1050					-							-0,2					1								
1050						-							-0,2					-0,1							
1050							1,8		0		0		-0,2						0,5						
1050								-0,1		0,3		-0,2								-0,1					
1050		0		0		0		-0,1			-0,1	-0,1		-0,1	-0,1		-0,1		-0,1	0					
1050	0,1		1,3		1,3		1,4	-0,1	0			-0,1	-0,2		0,3		0,3		0,4						
1150	Настройка не требуется								Настройка не требуется							0,1	-0,3	0,1	-0,3	0,1	-0,3	0			
1150	Настройка не требуется								Настройка не требуется									-0,1							
1150	Настройка не требуется								Настройка не требуется										-						
1150	Настройка не требуется								Настройка не требуется											0,1					
1150	Настройка не требуется								Настройка не требуется														-		
1150	Настройка не требуется								Настройка не требуется							-0,1		-0,1		0					0
1150	Настройка не требуется								Настройка не требуется									-		-		-			
1150	Настройка не требуется								Настройка не требуется									0,2				-0,4		0	
1150	Настройка не требуется								Настройка не требуется							0,7			-0,3						0
1180	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0	-0,2	0	Настройка не требуется							-0,1	-0,1	0	-0,2	0	-0,2	0			
1180		-							Настройка не требуется							0,1									
1180		0,5							Настройка не требуется								-0,1								
1180			-						Настройка не требуется									0,1							
1180				0,2					Настройка не требуется										-0,1						
1180					-0,5				Настройка не требуется											0,2					
1180						0,1			Настройка не требуется													-0,1			
1180							-0,2		Настройка не требуется														0,1		
1180								0,1	Настройка не требуется							0		0		0			0,1		
1180		0		0		0		0,1	Настройка не требуется								0		0			-0,1			
1180	-0,1		-0,1		-0,1		-0,2		Настройка не требуется									0				-0,2	0		
1180			-0,2			0,1			Настройка не требуется							0			-0,2				0		

решена для условий сортопрокатного производства ОАО «Северсталь». Адаптация модели настройки и последующее моделирование предупреждающих действий осуществлено для станов 350, 250 и 150.

Таблицы ПД заполнялись следующим образом: с помощью матричной модели моделировался процесс прокатки с изменённым, относительно оптимального значения, параметром, например с температурой $T=1000^{\circ}\text{C}$. При этой ситуации рассматривали следующие варианты настройки стана (в таблицах ПД они выделены голубым цветом):

- 1) настройка всеми клетями;
- 2) настройка только одной клетью (по порядку каждой);
- 3) настройка только четными клетями;
- 4) настройка только нечетными клетями;
- 5) некоторые другие пробные ситуации настройки.

При моделировании анализировали ситуации для следующих значений параметров:

температура нагрева заготовки: $T=1000; 1050; 1150; 1180^{\circ}\text{C}$;

количество переточек: 4; 8 шт., иногда 3; 5;

базовый предел текучести стали $\sigma_T=6; 8; 12; 14 \text{ кг/мм}^2$.

В процессе работы моделировались режимы настройки для определения предупреждающих действий на станах 250, 150, 350 ОАО «Северсталь» при прокатке следующих профилей:

1) стан 250: круг $\varnothing 10, \varnothing 12, \varnothing 23$; уголок $20 \times 20, 25 \times 25, 40 \times 40 \text{ мм}$.

2) стан 150: круг $\varnothing 5,5, \varnothing 6,5$ и $\varnothing 9 \text{ мм}$.

3) стан 350: швеллер 10 и уголок $75 \times 75 \text{ мм}$.

По результатам моделирования получили ряды данных о величинах изменения зазоров, которые и разместили в таблицах ПД. Примеры таблиц ПД для случаев прокатки круга $\varnothing 5,5 \text{ мм}$ на стане 150 при изменении температуры и уголка $20 \times 20 \text{ мм}$ на стане 250 при изменении количества переточек представлены в табл. 3 и 4 соответственно.

В результате составления таблиц ПД получен наглядный и функциональный «инструмент предупреждения» для условий каждого стана.

Оператор (вальцовщик), зная на входе в процесс об изменении температуры, марки стали или диаметра валков, может оперативно использовать данные таблицы ПД, подстраивая клетки

Таблица ПД для черновой группы клетей при прокатке уголка $20 \times 20 \text{ мм}$ на стане 250

Переточки	1 подгруппа (черновые клетки)							
	изменение зазора							
	а	б	1	2	3	4	5	6
4	-							
4		-						
4			-					
4				3,0				
4					-			
4						-		
4							-	
4								0,5
4	-0,5	0,3	-0,5	0,3	-0,5	0,1	0,3	0,4
4		0,3		0,3		0,1		0,4
4	-		-		-		-	
4	-0,3	1,9	-1,1	2	-0,1			
4	-0,3	1,7	-1,3	1,7	0,3	1,6		
4		0,3	-0,5	0,3	-0,5	0,1	0,3	0,4
8				-				
8								1,7
8	-1	0,9	-1,1	0,9	-1,1	0,9	0,7	0,9
8		0,9		0,9		0,9		1
8	-		-		-		-	
8	-	-	-	-	-			
8	1,9	4,2	-1,4	2,6	2,4	4,6		
8	-1,1		-1,1	0,9	-1,1	0,9	0,7	1
8	-	-	-	-	-			
8	-0,9	0,9		0,9	-1,1	0,9	0,7	1
8	-0,9	0,7	-0,9		-0,9	0,7	0,5	0,8
8	-0,9	0,9	-1,1	0,9	-1,1	0,9		1
8	1,9	4,2	-1,4	2,6	2,4	4,4	0,8	

под изменившиеся условия. Причем у него будет возможность выбора между вариантами настройки (например, настройка одной клетью или только четными клетями).

По рекомендациям стандарта ИСО 9001 необходимо оценивать результаты внедрения предупреждающих и корректирующих действий. При внедрении таблиц ПД предусмотрена оценка (например, в процентном отношении): насколько изменилось при использовании таблиц ПД, количество готового профиля, соответствующего по геометрии требованиям НД относительно количества готового профиля без использования таблиц ПД.

Библиографический список

1. ИСО 9000:2005. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.
2. Разработка и совершенствование системы менеджмента качества: Учеб. пособие. Челябинск: АНО «ПРОНАП-СЕРТ», 2006.
3. ИСО 9001:2000. Системы менеджмента качества. Требования.
4. Тулупов О.Н. Структурно-матричные модели для повышения эффективности процессов сортовой прокатки. Магнитогорск: МГТУ, 2002. 224 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 536.082

Дубский Г.А., Вдовин К.Н., Нефедьев А.А., Дубская Т.Я.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ ТЕЛ МЕТОДОМ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ТЕПЛОВЫХ ВОЛН

Введение

Теплофизические свойства (теплопроводность, температуропроводность, теплоемкость) являются важнейшими параметрами твердых тел (металлов и неметаллов), определяющими в значительной мере их расход, область применения, а также конструкцию и качество работы агрегатов. Знание теплофизических свойств твердых тел особенно возросло в последние годы в связи с интенсификацией металлургических и других технологических процессов.

В настоящее время особую актуальность приобрели методы высокотемпературных исследований теплофизических свойств твердых тел, использующие периодические способы возбуждения тепловых потоков в исследуемых материалах, позволяющих измерять в одной экспериментальной установке комплекс теплофизических параметров с высокой точностью.

Существует несколько методов, основанных на использовании установившихся периодических колебаний температуры: метод радиальных температурных волн, метод плоских температурных волн для пластин и стержня. Теория некоторых из этих методов, их экспериментальное осуществление изложены в монографии [1].

Для измерения теплофизических свойств цилиндрических образцов наиболее пригодным является метод периодических колебаний температуры. Суть данного метода заключается в создании на одной из торцовых поверхностей цилиндра периодических колебаний температуры с помощью периодического источника тепла. Температурная волна, распространяясь вглубь по оси образца, затухает и регистрируется на ее противоположной границе (рис. 1). Сдвиг фаз между периодическим колебанием тепла на одной из границ и колебанием температуры на противоположной границе образца (рис. 2) в условиях малого влияния теплообмена однозначно связан с его температуропроводностью.

В том случае, когда известна периодически вводимая в образец мощность и величина амплитуды колебаний температуры на поверхности, можно определить теплоемкость, а следовательно, и теплопроводность, а также электропроводность, используя при этом закон Видемана-Франца-Лоренца.

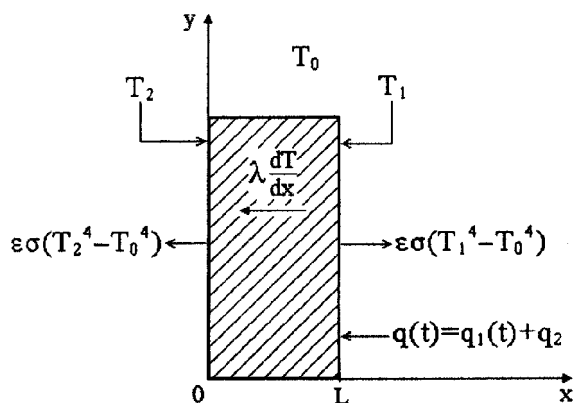


Рис. 1. Картина распределения потоков тепла в исследуемом образце

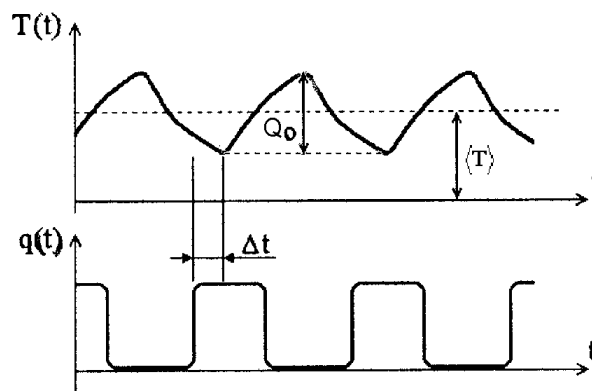


Рис. 2. Временные зависимости колебаний температуры $\Theta(t)$ и мощности светового потока $q(t)$

Теория

Для получения аналитического выражения распространения установившихся колебаний температуры в цилиндрическом коротком образце в направлении оси следует решить одномерное уравнение теплопроводности при следующих граничных условиях (см. рис. 1):

$$a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\partial T}{\partial t}; \tag{1}$$

1) на границе пластины $x=L$ тепловой поток изменяется по периодическому закону

$$q(t) = q_1(t) + q_2 = \lambda \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=L} + \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_1^4 + T_0^4); \tag{2}$$

2) на противоположной границе пластины $x=0$

$$\lambda \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_2^4 + T_0^4), \tag{3}$$

где $q(t)$ – полный тепловой поток; $q_1(t)$ и q_2 – его переменная и постоянная составляющие; T_1 и T_2 – температуры на соответствующих границах пластины; T_0 – температура окружающей среды; ε – степень черноты; σ – постоянная Стефана-Больцмана; a – коэффициент температуропроводности ($a = \lambda / \rho C_p$).

Представленная система уравнений (1)–(3) отражает математическую модель распространения периодического потока тепловой энергии вглубь цилиндрического образца по его оси, возбуждаемого на одном из двух его торцов. При этом предполагается, что поверхностная плотность потока энергии распределена равномерно.

Для решения уравнения (1) при условиях (2) и (3) необходимо представить температуру в виде суммы постоянной и переменной составляющих, соответствующих постоянной и переменной составляющим мощности, т. е.

$$T(x, t) = T(x) + v(x, t), \tag{4}$$

где $T(x)$ – стационарная, $v(x, t)$ – переменная составляющая температуры.

Учитывая зависимость (4), можно получить следующую систему уравнений для переменной составляющей температуры:

$$\begin{cases} a \frac{\partial^2 v(x, t)}{\partial x^2} = \frac{\partial v(x, t)}{\partial t}; \end{cases} \tag{5}$$

$$\begin{cases} q_1 = \lambda \left. \frac{\partial v(x, t)}{\partial x} \right|_{x=L} + \alpha_1 \cdot v(x, t); \end{cases} \tag{6}$$

$$\begin{cases} \lambda \left. \frac{\partial v(x, t)}{\partial x} \right|_{x=0} = \alpha_2 \cdot v(x, t), \end{cases} \tag{7}$$

где $\alpha_1 = 4\varepsilon\sigma T^3(L)$; $\alpha_2 = 4\varepsilon\sigma T^3(0)$.

В силу того, что изменение потока тепла на границе периодическое, его можно представить в виде гармонического ряда Фурье в удобной для решения комплексной форме

$$q_1 = q_0 e^{i\omega t}, \tag{8}$$

где q_0 – амплитудное значение потока тепла; ω – циклическая частота изменения мощности.

Соответственно температура для переменной составляющей будет иметь вид

$$v(x, t) = \Theta(x) e^{i\omega t}. \tag{9}$$

Подстановка (8) и (9) в (5)–(7) дает для $\Theta(x)$

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 \Theta(x)}{\partial x^2} - i \frac{\omega}{a} \Theta(x) = 0; \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} q_0 = \lambda \left. \frac{\partial \Theta(x)}{\partial x} \right|_{x=L} + \alpha_1 \cdot \Theta(x); \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} \lambda \left. \frac{\partial \Theta(x)}{\partial x} \right|_{x=0} = \alpha_2 \cdot \Theta(0). \end{cases} \quad (12)$$

Решением уравнения (10) является выражение

$$\Theta(x) = C_1 e^{\sqrt{\frac{i\omega}{a}}x} + C_2 e^{\sqrt{\frac{i\omega}{a}}x}. \quad (13)$$

Коэффициенты C_1 и C_2 могут быть найдены из граничных условий (11) и (12).

$$C_1 = \frac{q_0 L}{\lambda} \frac{\chi \sqrt{1 + Bi_2}}{e^{\chi \sqrt{i}} (\chi \sqrt{i} + Bi_1) (\chi \sqrt{i} + Bi_2) - e^{-\chi \sqrt{i}} (\chi \sqrt{i} + Bi_1) (\chi \sqrt{i} + Bi_2)};$$

$$C_2 = \frac{q_0 L}{\lambda} \frac{\chi \sqrt{1 + Bi_2}}{e^{\chi \sqrt{i}} (\chi \sqrt{i} + Bi_1) (\chi \sqrt{i} + Bi_2) - e^{-\chi \sqrt{i}} (\chi \sqrt{i} + Bi_1) (\chi \sqrt{i} + Bi_2)},$$

где $\chi = \sqrt{\frac{\omega}{a}}L$; $Bi_1 = \frac{\alpha_1 L}{\lambda}$, $Bi_2 = \frac{\alpha_2 L}{\lambda}$ – значения критерия Био для поверхности $x=L$ и $x=0$ соответственно.

Для образцов малой толщины можно предположить, что $Bi_1=Bi_2=Bi$. Тогда, разделив (13) на действительную и мнимую части, получим для сдвига фаз между колебаниями мощности и температуры на поверхности $x=0$.

$$\varphi = \text{arctg} \frac{-\chi^2 (U_1 + U_2) - 4\chi U_4 Bi + (U_1 + U_2) Bi^2}{\chi^2 (U_1 + U_2) - 4\chi U_3 Bi + (U_1 + U_3) Bi^2}, \quad (14)$$

где $U_1 = sh \chi_1 \cdot \cos \chi_1$; $U_2 = sh \chi_1 \cdot \sin \chi_1$; $U_3 = sh \chi_1 \cdot \cos \chi_1$; $U_4 = sh \chi_1 \cdot \sin \chi_1$; $\chi_1 = \chi / \sqrt{2}$.

Для амплитуды колебаний температуры $\Theta(x)$ на поверхности $x=0$, с учетом вышесказанного, получим

$$\frac{|\Theta|}{\Theta_0} = \frac{\chi^2 \chi_1 \sqrt{(Bi^2(U_1 - U_2) - 4\chi_1 U_4 Bi - \chi^2(U_1 - U_2))^2 + (Bi^2(U_1 - U_2) + 4\chi_1 U_3 Bi - \chi^2(U_1 - U_2))^2}}{(Bi^2 U_1 + 2Bi \chi_1 (U_3 - U_4) - \chi^2 U_2)^2 + (Bi^2 U_2 + 2Bi \chi_1 (U_3 - U_4) + \chi^2 U_1)}, \quad (15)$$

где $\Theta_0 = q_0 / C_p \rho \omega L$; C_p – теплоемкость образца при постоянном давлении; ρ – плотность образца; ω – циклическая частота изменения потока тепла; L – толщина образца.

Для $Bi=0$ уравнения (14) и (15) принимают вид:

$$\varphi = \text{arctg} \frac{-(U_1 + U_2)}{(U_1 + U_2)}; \quad (16)$$

$$F = \frac{|\Theta|}{\Theta_0} = \frac{\chi}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2}}. \quad (17)$$

Формулы (16) и (17) являются основными для определения температуропроводности и теплоемкости. Зависимость сдвига фаз от безразмерного параметра χ для $Bi=0$; 0,2; 0,3; 0,5, посчитанная по формуле (14), представлена на рис. 3.

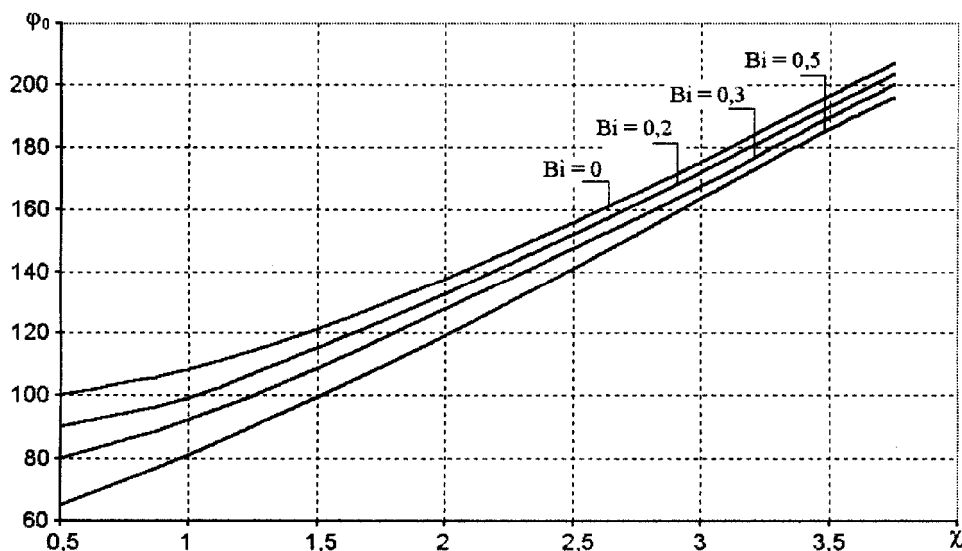


Рис. 3. Зависимость сдвига фаз первой гармоники мощности и первой гармоники колебания температуры на обратной от нагреваемой поверхности пластины

Из рисунка видно, что с ростом χ кривые сходятся так, что отличие кривой с $Bi=0$ и $Bi=0,2$ при $\chi=3$ составляет несколько градусов и может быть учтено в качестве поправки. В принципе, фазово-амплитудный вариант измерений позволяет осуществлять эксперимент при любых значениях коэффициента теплообмена. Данным достоинством не обладает ни один из существующих в настоящее время методов.

Процедура определения коэффициента температуропроводности заключается в нахождении сдвига фаз ϕ из записи колебаний температуры и изменений мощности нагрева. По найденному сдвигу фаз, используя кривую **рис. 3**, определяют соответствующее значение параметра χ , который однозначно связан с температуропроводностью исследуемого объекта.

$$\chi = \sqrt{\frac{\omega}{a}} L.$$

Как уже отмечалось, возможности данного метода не ограничиваются измерениями температуропроводности. Если известна периодически вводимая в образец мощность и амплитуда колебаний температуры, по формулам (15) и (17) можно определить теплоемкость исследуемого образца.

Теоретический анализ показывает, что оптимальными условиями осуществления метода плоских температурных волн является работа на частотах, при которых безразмерный параметр χ , характеризующий затухание температуры, находится в пределах $2 < \chi < 4$.

Для указанного интервала значений параметра χ диапазон рабочих периодов изменяется в пределах 5...15 с. Для получения амплитуды колебаний температуры 2...20°C требуется мощность 30...300 Вт/см² соответственно.

Эксперимент

Для практической реализации следствий, полученных из решения поставленной задачи, предлагается один из вариантов построенной экспериментальной установки, структурная схема которой представлена на **рис. 4**.

Предлагаемая установка для измерения температуропроводности состоит из трех основных частей: светового источника для создания периодического теплового потока, водоохлаждаемой вакуумной камеры с вмонтированной в нее специальной электрической печью для нагревания образца до необходимой стационарной температуры и регистрирующей части.

В качестве светового источника периодических колебаний мощности используется лампа 5 (К30/500 Вт). Свет от лампы собирается с помощью сферического отражателя 6 и концентрируется конденсором 4, который в фокусе обеспечивает световое пятно диаметром 16 мм на расстоянии 150 мм от источника.

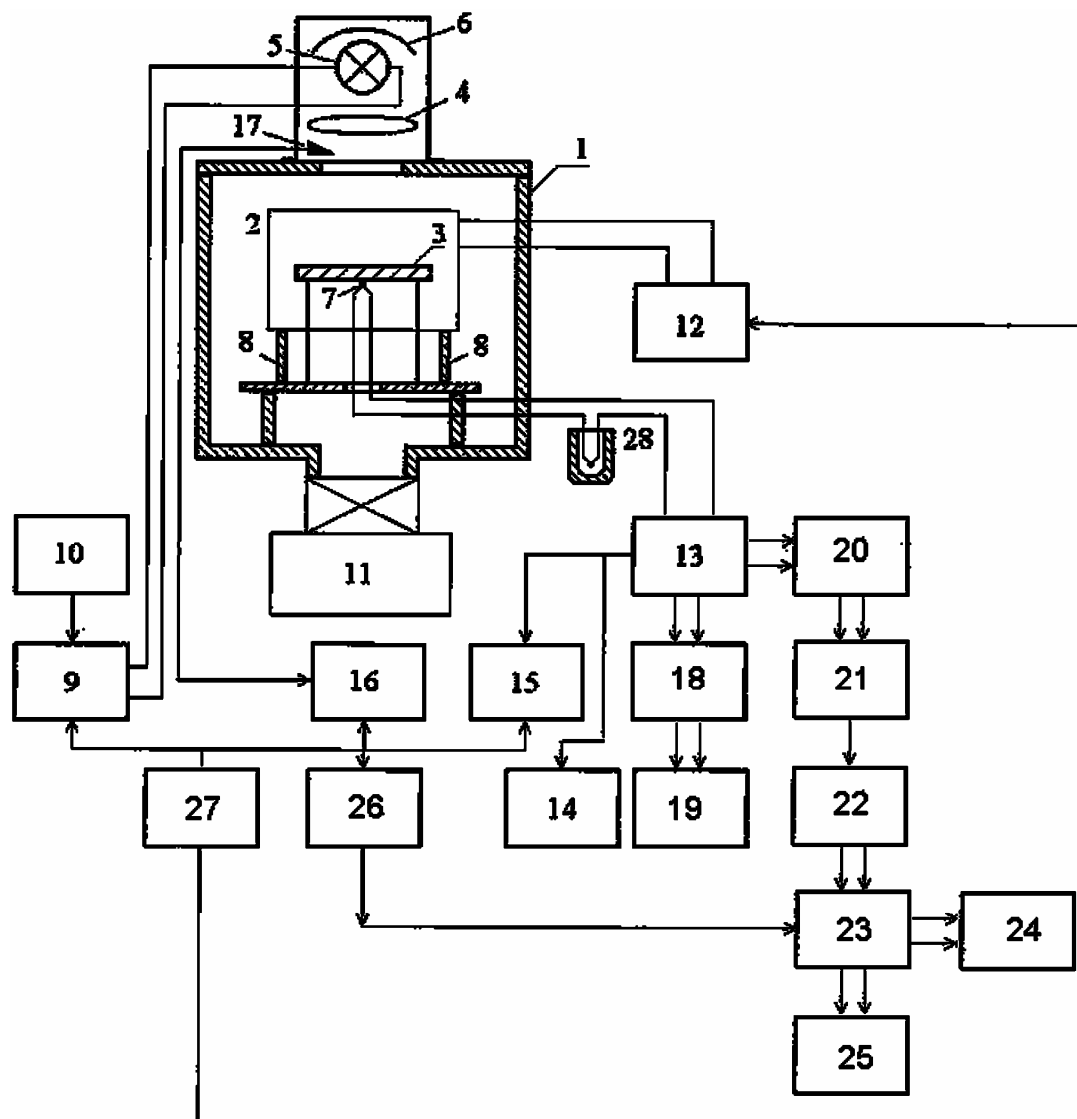


Рис. 4. Блок-схема экспериментальной установки:

- 1 – вакуумная камера; 2 – нагреватель с тепловыми экранами; 3 – образец; 4 – конденсор; 5 – световой источник; 6 – сферический отражатель; 7 – термопара; 8 – стойки из изоляционного материала; 9 – прерыватель тока светового источника; 10 – генератор НГПК-ЗМ; 11 – вакуумный насос; 12 – ЛАТР; 13 – потенциометр ПП-63; 14 – осциллограф; 15, 16 – КСП 4; 17 – фотосопротивление (ФСР); 18 – УПТ постоянной составляющей, определяющей $\langle T \rangle$; 19 – АЦП 1 для средней $\langle T \rangle$; 20 – преобразователь переменной составляющей определяющий Q ; 21 – УПТ преобразованной в (20) переменной ЭДС в постоянную; 22 – АЦП 2 для сигнала, определяющего Q ; 23 – системный блок компьютера; 24 – дисплей; 25 – принтер; 26 – АЦП 3 для сигнала от ФД (ФСР); 27 – стабилизатор напряжения сети; 28 – дьюар для холодного спая термопары

Далее свет, проходя через оптическое кварцевое окно вакуумной рабочей камеры, падает на образец 3. Фокусировка светового пучка производится путем перемещения источника 5 или конденсора 4 относительно образца и, таким образом, позволяет осуществлять регулирование величины мощности и равномерности нагрева поверхности образца. Образец 3 диаметром 16...20 мм и толщиной 5 мм установлен на трех вольфрамовых иглах. Периодическое изменение световой мощности производится путем включения-выключения цепи питания лампы через реле 9, которое управляется низкочастотным генератором прямоугольных периодических импульсов 10 с плавной регулировкой величины периодов. Колебания температуры, противоположной от нагреваемой поверхности образца, регистрируются...

рируются платинородиевой термопарой (диаметр провода 0,2 мм), которая приварена или приклеивается высокотемпературной замазкой на основе оксида алюминия в центральной части образца.

Сигнал от термопары подается на потенциометр 13 (ПП-63), где производится компенсация постоянной составляющей ТЭДС, соответствующей средней температуре поверхности образца. Переменная составляющая после усиления записывается потенциометром 15 (КСП-4). На потенциометре 16 одновременно регистрируются колебания мощности светового источника, необходимые для определения разности фаз между первой гармоникой мощности и первой гармоникой колебаний температуры на обратной стороне пластины. Для контроля выхода на квазистационарный режим сигнал с усилителя 15 также подается на электронный осциллограф 14. Выход на регулярную стадию теплового режима в силу малых габаритов образца и нагревающего устройства происходит достаточно быстро – примерно за 20 мин.

Результаты эксперимента

Описанная экспериментальная установка была построена одним из авторов в 1976 году [4]. Она была предназначена для измерения теплофизических свойств только металлических образцов, а в качестве периодического источника энергии использовался концентрированный электронный пучок от вольфрамовой плоской спирали, нагреваемой до температуры активной эмиссии электронов. С помощью мощного электронного модулятора формировались импульсы термотока, поступающие на анод (образец). Данная установка позволила в широком температурном интервале измерить теплопроводность и теплоемкость таких металлов, как Hf, Mo и W.

Поскольку и в предлагаемой установке, и в созданной ранее используется одна и та же математическая модель, то для подтверждения работоспособности предлагаемой методики мы приводим экспериментальные данные, полученные в работе [4].

Результаты измерений представлены на рис. 5 и 6. Из них видно, что вплоть до температуры $0,5T_{пл}$ характер поведения $C_p(T)$ всех исследуемых металлов соответствует литературным данным [3]. Что касается диапазона температур $0,5T_{пл} \leq T \leq T_{пл}$, то теплоемкость в этом интервале сравнивать просто не с чем, т. к. проведенных исследований в этой области температур очень мало, а те, которые есть, противоречивы.

Полученные зависимости $C_p(T)$ не противоречат современным представлениям о механизмах, дающих вклад в общую теплоемкость металлов в широком температурном интервале:

- 1) гармонический вклад;
- 2) ангармонический вклад;
- 3) вклад от точечных дефектов кристаллической структуры;
- 4) «скачки» от возможных фазовых переходов I и II родов.

Так, в зависимостях $C_p(T)$ для W и Mo наблюдаются вклады 1, 2 и 3, а для Hf еще и 4 для температур от 1500 до 1700°C.

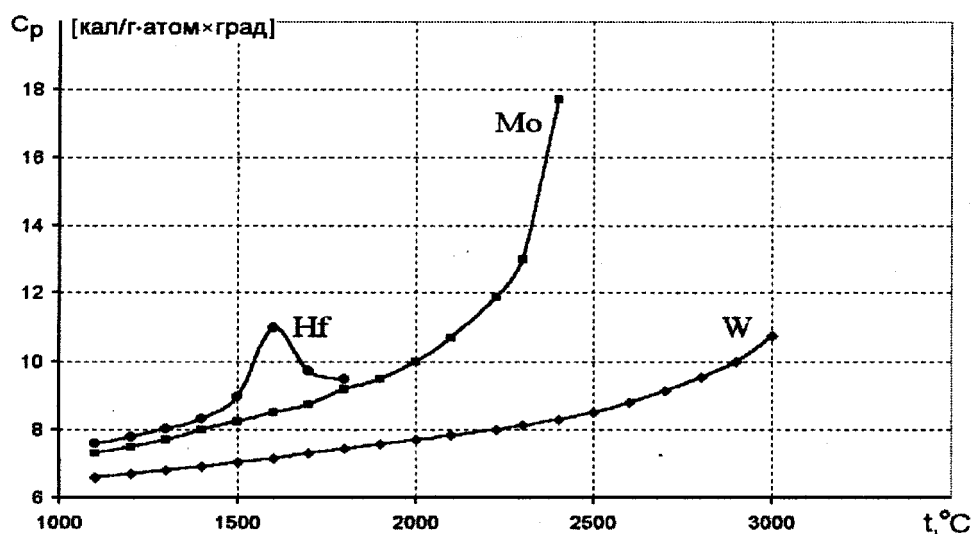


Рис. 5. Зависимость теплоемкости при постоянном давлении от температуры

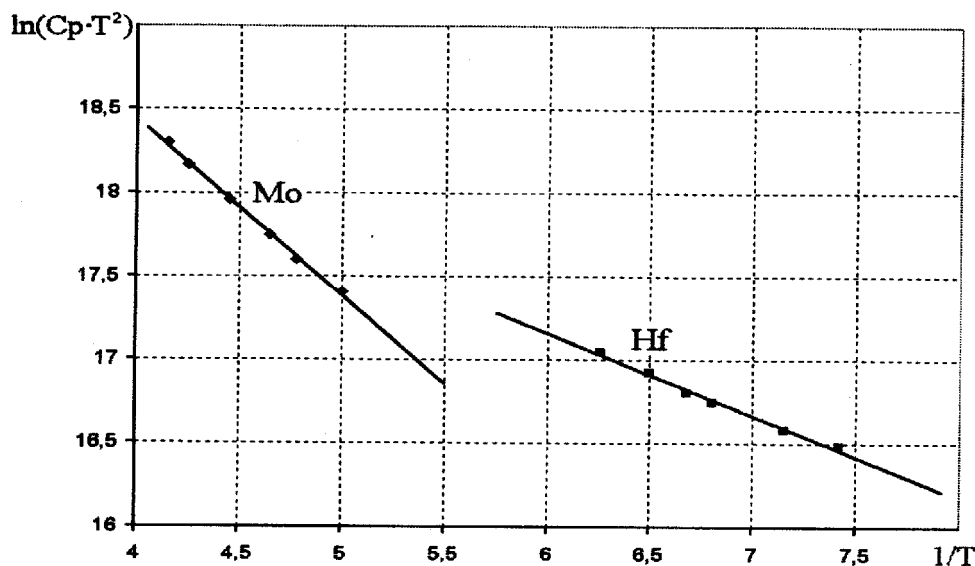


Рис. 6. Линии $\ln(C_{деф} \cdot T^2) = f(1/T)$ для Мо и Hf

Анализ

Если предположить, что в теплоемкость исследованных металлов при высоких температурах основной вклад дают точечные дефекты кристаллической структуры, то должна получиться прямая линия с определенным наклоном в координатах $\ln(Cp \cdot T^2)$ от $1/T$.

Данное утверждение логично следует из зависимости равновесной концентрации точечных дефектов по Шоттки или Френкелю от температуры:

$$n = n_0 \cdot e^{-\frac{E_{акт}}{kT}}, \tag{18}$$

где n_0 – число узлов кристаллической структуры в единице объема; $E_{акт}$ – энергия активации точечного дефекта; T – абсолютная температура.

Однако переход от одной температуры к другой связан с изменением равновесной концентрации дефектов, что требует затрат дополнительной энергии, поэтому вклад в теплоемкость, связанный с дефектами, будет

$$C_{деф} = E_{акт} \cdot \frac{dn}{dT}. \tag{19}$$

Из (18) и (19) получим:

$$C_{деф} = \frac{E_{акт}^2 n_0}{kT^2} \cdot e^{-\frac{E_{акт}}{kT}}, \tag{20}$$

т. е. $C_{деф}$ круто растет с ростом T .

Взяв логарифм от обеих частей формулы, получим

$$\ln(C_{деф}) = \ln\left(\frac{E_{акт}^2 n_0}{kT^2}\right) - \frac{E_{акт}}{kT},$$

или $\ln(C_{деф} \cdot T^2) = const - \frac{E_{акт}}{kT}. \tag{21}$

Полученные прямые линии $\ln(C_{деф} \cdot T^2) = f(1/T)$ для Мо и Hf приведены на рис. 6. По углу наклона этих прямых были рассчитаны $E_{акт}$ для указанных элементов. Они равны соответственно 0,88 и 0,43 эВ. Эти данные согласуются с данными, приводимыми в литературе [2], но полученными другим способом.

Выводы

1. Предложена математическая модель и метод решения задачи об осевом распространении периодических потоков тепла в теплопроводящих материалах.
2. Разработана экспериментальная установка, реализующая предложенный метод измерения теплофизических свойств непроводящих твердых тел.
3. Главным достоинством экспериментальной установки является то, что она позволяет исследовать теплофизические свойства твердых тел вплоть до температуры плавления. Объектами исследования могут быть огнеупоры, строительные материалы и металлы.

Библиографический список

1. Филиппов Л.П. Высокотемпературные исследования теплофизических свойств твердых тел. М.: Наука, 1976.
 2. Лифшиц Н.М., Коганов М.И. Электронная теория металлов. М.: Наука, 1971.
 3. Жирифалько И.Д. Статистическая физика металлов и сплавов. Киев: Наук. думка, 1982.
 4. Дубский Г.А. Температурная зависимость теплоемкости переходных металлов Zr, Hf, Mo и фазовые переходы в электронной «жидкости» / МГУ им. В.М.Ломоносова. М., 1976.
-

НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛЫ

УДК 621.7.011:621.789

Чукин М.В., Валиев Р.З., Рааб Г.И., Копцева Н.В., Ефимова Ю.Ю.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ СТРУКТУРЫ НАНОСТАЛЕЙ 20 И 45 ПРИ КРИТИЧЕСКИХ СТЕПЕНЯХ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ*

Одним из важнейших видов металлоизделий является стальная проволока, широко используемая как конструктивный элемент при производстве канатов и биметаллической сталемедной продукции (проволоки и неизолированных проводов). Основными показателями качества указанных металлоконструкций являются их надежность и долговечность, которые преимущественно определяются свойствами стальной проволоки.

Достижение высокого качества и эксплуатационной надежности металлоконструкций и устойчивого уровня рыночной конкурентоспособности возможно лишь на основе новых наукоемких технологий получения материалов с новым уникальным комплексом свойств. Таковыми в настоящее время являются технологии, позволяющие получать ультрадисперсные и наноструктуры. Одним из наиболее перспективных подходов к получению таких структур в различных металлах и сплавах является применение методов интенсивной пластической деформации (ИПД), в особенности равноканального углового прессования (РКУП) и его модернизаций, позволяющих получать наноструктуры во всем объеме изделия.

Разработка технологических процессов получения проволоки для производства канатов и биметаллической сталемедной продукции невозможно без детального рассмотрения и глубокого исследования эволюции наноструктурных изменений в сталях в процессах интенсивной пластической деформации (ИПД). Задачей настоящих исследований является выявление основных закономерностей изменения структуры и свойств низко- и среднеуглеродистых марок сталей при критических степенях деформации.

При проведении исследований были использованы образцы, отобранные от образцов калиброванного проката из сталей марок 20 и 45 диаметром 20 мм, при этом выбор диаметра заготовки осуществлялся из технологических возможностей оборудования для равноканального углового прессования (РКУП). Процесс наноструктурирования реализовывали в условиях Института перспективных материалов ГОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет».

Испытания на сжатие проводились на кулачковом пластометре. Профилированный кулачок пластометра моделирует во времени закон нагружения образца. Пластометрические исследования проводили при температуре 20°C на цилиндрических образцах с исходными диаметрами $d_0=6$ мм и высотой $h_0=9$ мм. Образцы для испытаний изготавливали из центральных областей осесимметричных заготовок их токарной обработкой. Для достижения однородного напряженно-деформированного состояния в процессе осадки использовали полировку и смазку контактных поверхностей.

Характер структуры, формирующейся в образцах нетермообработанной стали 20 после испытания на пластометре, представлен на рис. 1, 2. Микрoанализ свидетельствует, что и в поперечном, и в продольном сечениях наблюдаются структурно неоднородные зоны, границы между которыми наблюдаются достаточно четко.

В поперечном сечении в области максимальной деформации вблизи поверхности и ферритные, и перлитные зерна ориентированы практически параллельно поверхности (или под небольшим углом к ней) (рис. 1, а). По мере удаления от поверхности происходит постепенная переориентация перлитных зерен: наблюдается зона, где они ориентированы практически перпендикулярно поверхности (рис. 1, б). Ферритные зерна в этой зоне ориентированы в большинстве случаев так же, как в поверхностном слое. И, на-

* Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы» по направлению «Конструкционные стали с ультрадисперсной и наноструктурой, методы их получения и обработки» (контракт № 02.513.11.3196).

конец, ближе к центру появляется еще одна зона (рис. 1, в), микроструктура в которой идентична структуре в центре исходного образца.

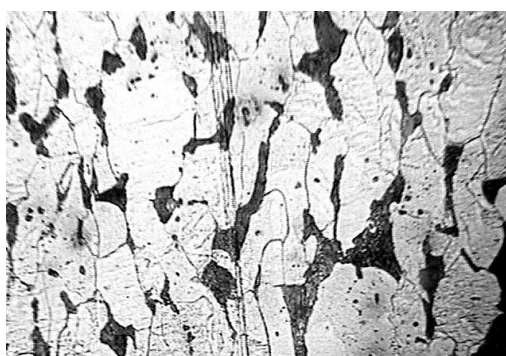
Неоднородность структуры в продольном сечении выражена еще в большей степени. При этом четко обнаруживается, что в центральной области поперечного сечения формируется волокнистая структура (рис. 2, б, в), ориентированная под небольшим углом (практически параллельно) к плоской поверхности цилиндрического образца.

Изменение структуры стали 45 без термообработки после испытаний на пластометре носит аналогичный характер (рис. 3). При этом наблюдается

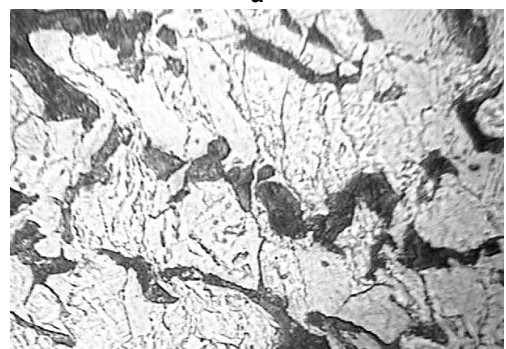
значительная неоднородность в центральных (рис. 3, а, г) и периферийных участках (рис. 3, б, в).

Структурные изменения стали 20 после испытания на пластометре образцов после улучшения и РКУП представлены на рис. 4.

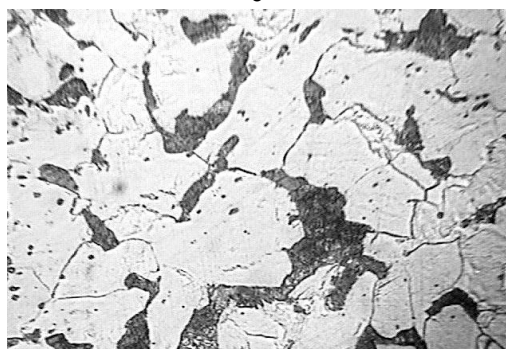
Микроанализ показывает, что в этом случае также формируются структурно различные зоны. Однако, в отличие от нетермообработанного образца, структурная неоднородность выражена в меньшей степени. Отсутствует, в частности, «переориентировка» перлитных участков, происходит их вытягивание в направлении действия напряжения растяжения. Основное различие связано



а



б

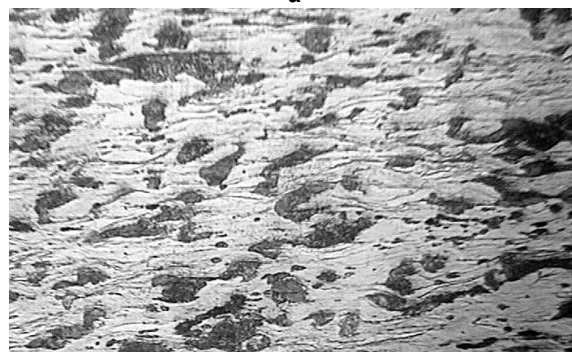


в

Рис. 1. Изменение микроструктуры нетермообработанного образца из стали 20 после испытания на пластометре в поперечном направлении от поверхности (а) к центру (в), x400



а



б



в

Рис. 2. Изменение микроструктуры нетермообработанного образца из стали 20 после испытания на пластометре в продольном направлении: а – вблизи поверхности; б, в – в центральной области, x400

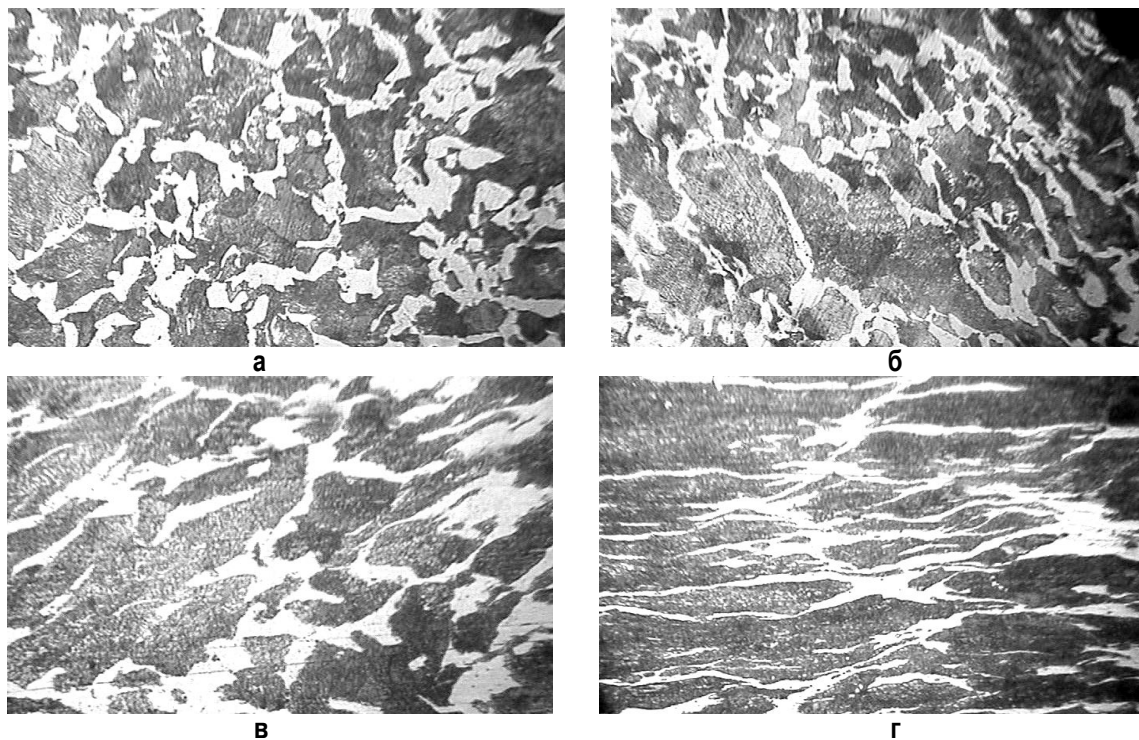


Рис. 3. Изменение микроструктуры нетермообработанного образца из стали 45 после испытания на пластометре в поперечном (а, б) и продольном (в, г) сечении, $\times 1000$

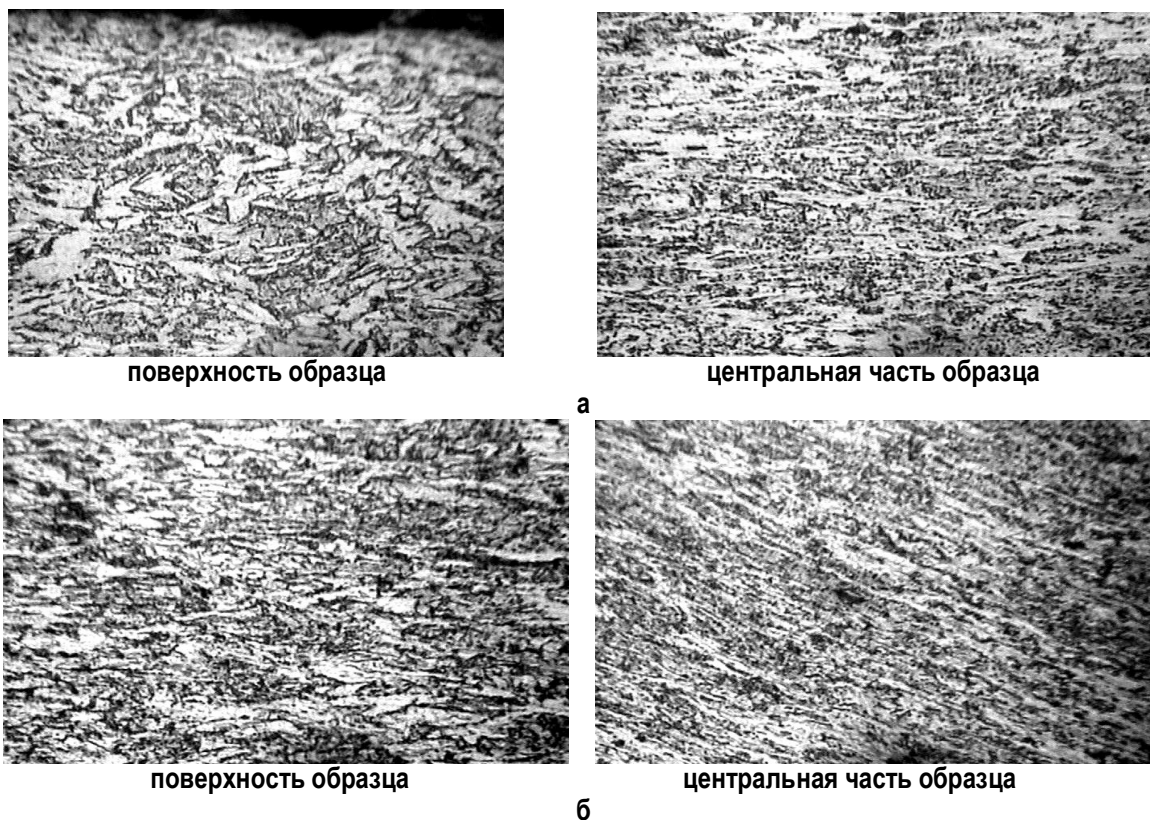


Рис. 4. Изменение микроструктуры в продольном сечении образцов из стали 20 после улучшения и РКУП после деформации на пластометре, $\times 1000$:
 а – степень деформации 74,0%, скорость деформации $3,876 \text{ с}^{-1}$;
 б – степень деформации 75,7%, скорость деформации $12,28 \text{ с}^{-1}$

с вышеописанными различиями структуры в зоне прокаливаемости и вне ее, которые наблюдаются и в образцах после испытания на пластометре: там, где произошла закалка, сформировалась структура типа сорбита отпуска, а вне ее – бейнитная или бейнито-ферритная.

По мере увеличения степени деформации от 74,0 до 77,7% (или скорости деформации от 3,876 до 12,29 с⁻¹) структура становится более однородной и более четко становится выраженным ее волокнистое строение. При больших скоростях деформации волокнистая структура формируется практически по всему сечению (рис. 5). Однако дальнейшее увеличение степени (скорости) деформации приводит к возникновению трещин и разрушению образцов.

Твердость стали 20 после испытания на пластометре представлена на рис. 6. Анализ полученных результатов свидетельствует, что после ИПД методом РКУП наблюдается более равномерное распределение твердости по сечению прутка как в нетермообработанном состоянии, так и в закаленном и улучшенном состояниях. При этом степень (скорость) деформации на пластометре не влияет существенно на прирост



а



б

Рис. 5. Микроструктура поверхностных слоев в центре (а) и в периферийной области (б) продольного сечения образца из стали 20 после улучшения и РКУП, х 1000. Степень деформации 75,2,0%, скорость деформации 11,918 с⁻¹

твердости, хотя и увеличивает ее по сравнению с состоянием после РКУП.

Микроанализ стали 45, подвергнутой улучшению и РКУП, показал, что при пластометрических испытаниях формируется более однородная структура как в поперечном, так и в продольном сечениях (рис. 7).

На продольных шлифах очень хорошо проявляется волокнистое строение металла.

Средняя твердость HV₂₀₀, измеренная вдавливанием алмазной пирамиды, составляет в продольном сечении 3635 МПа (3976 МПа – в центре и 3294 МПа – у поверхности), а в поперечном – 3267 МПа (3529 МПа – в центре и 2941 МПа – у поверхности).

Анализ полученных результатов свидетельствует, что после ИПД методом РКУП наблюдается более равномерное распределение твердости по сечению прутков из стали 20 и 45 как в не термообработанном состоянии, так и в закаленном и улучшенном.

Импликация методов объемного наноструктурирования сталей с процессами и технологиями производства проволоки и биметаллической сталемедной продукции и проектирование технологий стадийной деформационной обработки определяется полученными новыми научными знаниями об эволюции структуры сталей в процессах ИПД и после приложения критических степеней деформации при проведении пластометрических исследований. Полученные данные позволяют не только проектировать процессы деформирования (калибрования и волочения) для получения из наноструктурных заготовок проволоки, но и прогнозировать свойства готовой продукции.

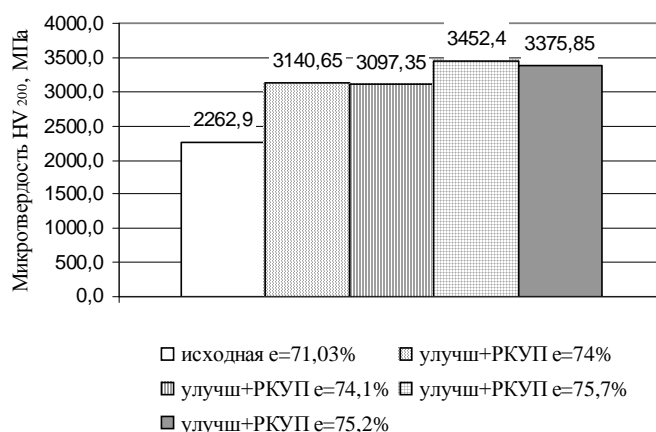


Рис. 6. Микротвердость стали 20 после различных видов обработки (твердость после испытания на пластометре приведена для образцов после улучшения и РКУП)

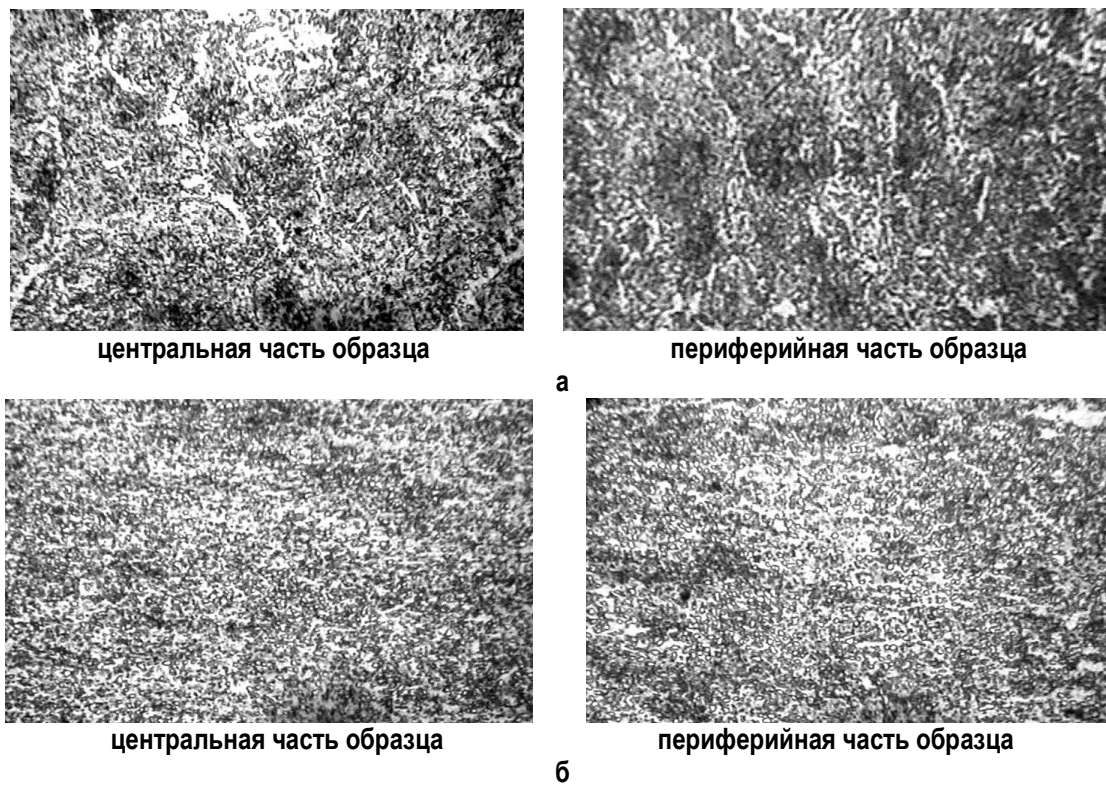


Рис. 7. Микроструктура образца из стали 45 в поперечном (а) и продольном сечении (б), подвергнутого улучшению и РКУП, после испытания на пластометре, х 1000

НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

УДК [621.771.06-11:621.822]-192

Дудоров Е.А., Жиркин Ю.В.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПОДШИПНИКОВОГО УЗЛА С ЦЕЛЮ ПРОДЛЕНИЯ ЕГО РЕСУРСА

Часто у инженера-конструктора при проектировании узлов подшипников качения (ПК) возникает вопрос о том, какой принцип смазывания в данном конкретном случае предпочтительнее. Существенную роль при этом играют экономические факторы, условия монтажа и эксплуатации оборудования, но необходимо также учитывать количество смазочного материала, необходимое для бесперебойной работы подшипника, цикличность подачи смазочного материала в подшипниковый узел, а также выбор типа и конструкции уплотнений.

Смазочный материал оказывает большое влияние на долговечность подшипников. Он уменьшает трение, снижает контактные напряжения, защищает от коррозии, способствует охлаждению подшипника. Для смазывания подшипника качения применяются пластичные (ПСМ) и жидкие смазочные материалы (ЖСМ). Жидкий смазочный материал в подшипнике более эффективно снижает потери на трение и охлаждает ПК в сравнении с ПСМ.

Ранее при проектировании оборудования для смазывания ПК применяли неэкономичные системы смазывания пластичным смазочным материалом, циркуляционные системы смазывания, системы «масляный туман» (аэрозоль). В последнее время наряду с традиционными способами смазывания широкое применение находят плёночные системы смазывания масловоздушной смесью (масло – воздух). Особенно эффективны они для смазывания опор, вращающихся с высокой скоростью, а также узлов трения, работающих в условиях большой запыленности, высоких температур, ударных нагрузок, с большой вероятностью попадания в места трения грязи, охлаждающей жидкости и других вредных компонентов, повышающих износ.

Рассмотрим основные подходы к проектированию систем смазывания на примерах одних из наиболее сложных объектов – опор валков прокатных станов.

1. Расход смазочного материала для смазывания ПК:

Для определения количества смазочного материала Q (см³/ч) при различных способах смазывания известный изготовитель подшипников фирма SKF рекомендует следующие формулы [1]:

- смазывание погружением

$$Q = (0,02...0,1) \cdot D \cdot B,$$

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

- смазывание пластичным смазочным материалом

$$Q = 0,003 \cdot D \cdot B;$$

- смазывание масляным туманом (масляный аэрозоль)

$$Q = 0,0005 \cdot D \cdot B;$$

- циркуляционное смазывание

$$Q = (0,0005...0,00083) \cdot D \cdot B;$$

- смазывание плёночной системой «масло – воздух»

$$Q = (0,00001...0,00006) \cdot D \cdot B,$$

где нижняя граница коэффициента относится к роликоподшипникам, а граница коэффициента для шарикоподшипников, особенно радиально-упорных, находится в верхнем диапазоне.

Как видно из представленных эмпирических зависимостей, наименьший расход смазочного материала наблюдается при применении циркуляционной системы смазывания и при смазывании плёночной системы «масло – воздух», но для циркуляционной системы требуется сложное оборудование и не всегда имеется возможность применить его. Системы «масло – воздух» в отличие от циркуляционной системы позволяют

смазывать ПК и частично герметизировать подшипниковый узел от попадания в него технических вод, окалины за счёт создания в нём избыточного давления воздуха в 0,02...0,08 МПа, но обладают меньшей охлаждающей способностью, нежели циркуляционные системы.

2. Подвод и распределение смазочного материала

Эффективность работы подшипникового узла во многом определяется способом подвода смазочного материала к поверхности трения и распределение его.

Обычно для четырехрядного радиально-упорного подшипника смазочный материал подают через специальные смазочные каналы в подушке подшипникового узла (рис. 1). В основном такая конструкция каналов применяется при смазывании пластичным смазочным материалом. При этом способе смазывания возможно возникновение ситуации, когда ПСМ в результате работы в подшипниковом узле меняет свои механические свойства, образуя защитное кольцо по диаметру свободной полости ПК, тем самым блокирует попадание свежей порции смазочного материала на поверхность трения роликов.

Также при такой конструкции смазочных каналов не осуществляется смазывание рабочей поверхности радиальных манжет, необходимое как для улучшения герметизации подшипникового узла, так и для увеличения ресурса самих манжет.

Попытки применить конструкцию смазочных каналов (см. рис. 1) для подвода масляного тумана в подшипниковый узел не дали ощутимых результатов, так как происходило неравномерное распределение смазочного материала между дорожками качения ПК, а также большая часть смазочного материала в виде аэрозоля уходила в атмосферу через зазоры в подшипниковом узле. В работе [2] (рис. 2) автор решает проблему подачи смазочного материала на дорожки качения с помощью специальных кольцевых распределителей 1, прикреплённых на разделительном кольце под-

шипника 2 либо вместо него. Данная конструкция распределителя 1 с соплами 3 по своей сути сложна и не решает такие задачи, как: возможность оперативного вмешательства в случае неисправности распределителя, сложность ревизии, невозможность обеспечения смазывания манжет.

При применении плёночной системы смазы-

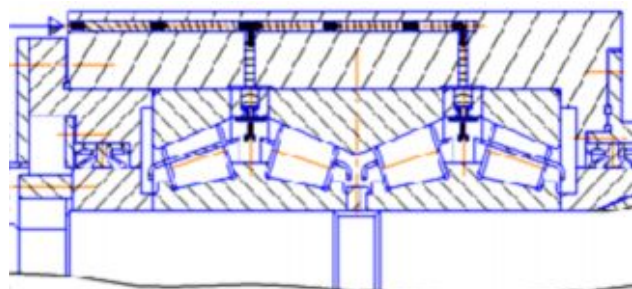
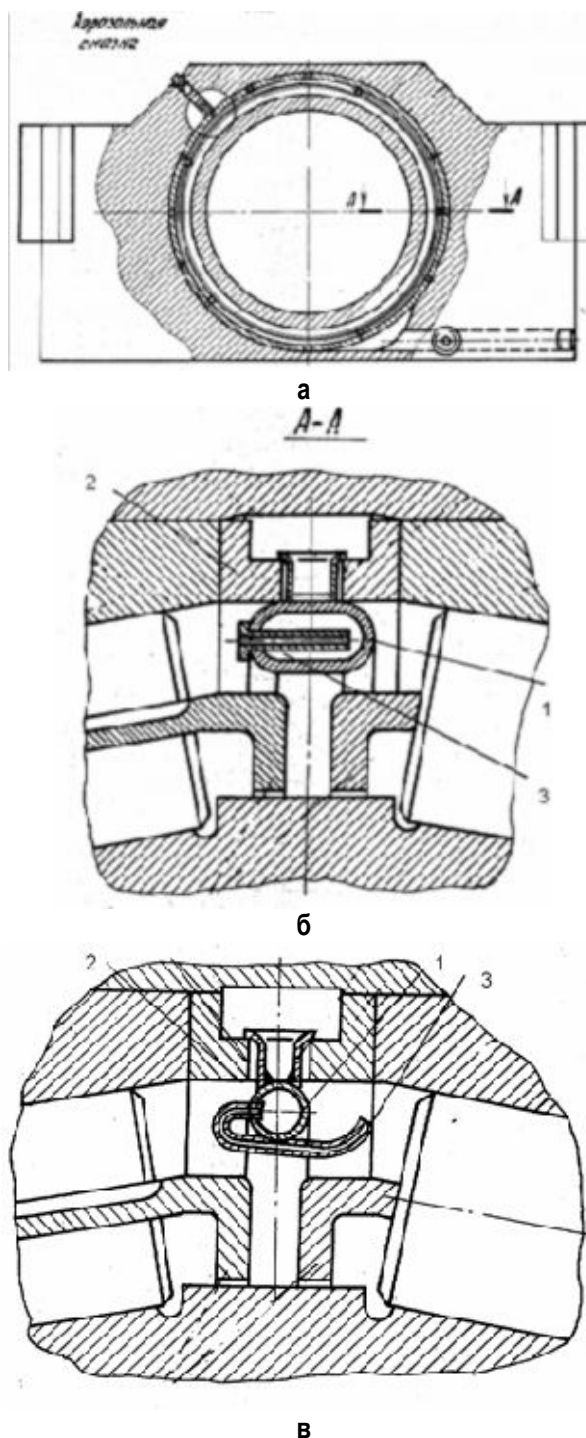


Рис. 1. Каналы для подвода пластичного смазочного материала к ПК

Рис. 2. Конструкция распределителей для смазывания системой масляный туман

вания (рис. 3) масло подводится в подшипник через специальные вставки с дюзами или делитель потока 1, 2, длина которых и диаметры выходных отверстий отличаются и согласовываются с конструкцией и размерами подшипника. Существующая схема подвода смазочного материала к четырехрядному радиально-упорному ПК через делители потока 1, 2 позволяет равномерно разделить масловоздушный поток на равные части, тем самым обеспечить смазывание поверхности трения ПК. Но при такой конструкции смазывающих устройств неудовлетворительно осуществлялось смазывание манжет, в результате чего они быстро выходили из строя по износу.

Поэтому в ЗАО «МПС» была разработана конструкция подшипникового узла (рис. 4) со специальными встроенными делителями потока 1, 2, позволяющими равномерно разделять масловоздушный поток для смазывания поверхности трения ПК, а также направлять часть масловоздушного потока через каналы 3, 4 на смазывание рабочих кромок радиальных манжет.

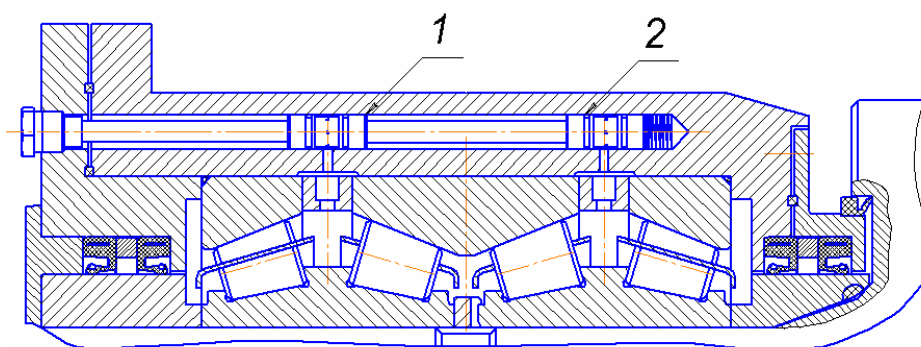


Рис. 3. Установка делителей потока для смазывания подшипника

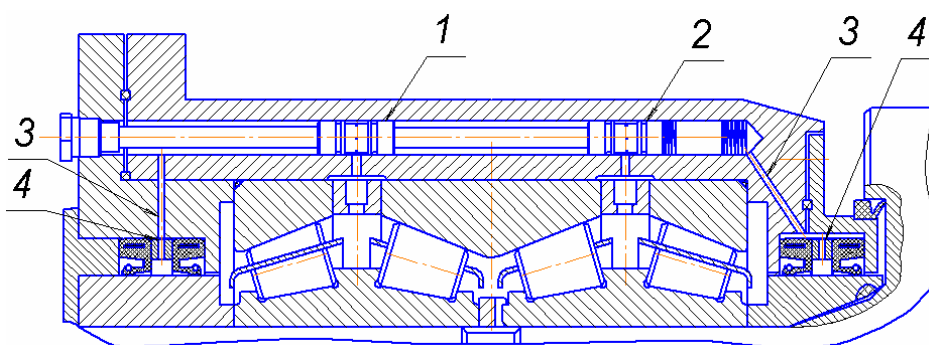


Рис. 4. Установка делителей потока для смазывания подшипника и манжет

Это привело к общему повышению герметизации подшипникового узла рабочего вала от проникновения воды, эмульсии, окалины, увеличился срок службы манжет и в целом всего подшипникового узла стана 630 х.п. ЛПЦ-8. В настоящее время прорабатывается возможность модернизации подшипникового узла рабочего вала 11-й клетки стана 2000 г.п. с применением специальных встроенных делителей потока.

УДК 621.771

Кадошников В.И., Куликов С.В., Шестопалов Е.В., Куликова Е.В.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ АГРЕГАТОВ ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА КАК СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

До последнего времени вопрос отыскания оптимального по критериям надежности варианта построения технической системы не стоял так остро перед практикой управления такими системами, как в настоящее время. Процесс обеспечения требуемой надежности технической системы зачастую считается как бы сопутствующим процессу ее создания. В этом случае задача считается успешно выполненной, если удастся создать структуру системы, удовлетворяющую основным требованиям ее назначения. В связи с качествен-

ными изменениями, присущими современным техническим системам, в настоящее время серьезно возросли требования, предъявляемые к эффективности, а отсюда и к надежности данных систем. В условиях ограниченного финансирования, при необходимости обеспечения высокого качества функционирования различных технических систем, возникла необходимость синтеза таких их структур, которые обеспечивали бы (в течение требуемого времени и при заданных условиях эксплуатации) наилучшую реализацию возлагаемых

на эти системы функций, т.е. структур, оптимальных по показателям надёжности. В силу комплексности свойства данного показателя и наличия целого ряда ограничивающих условий, а также существования своих особенностей работы систем, для каждого конкретного случая, такой синтез их структур является многокритериальным. Обеспечение общей (комплексной) оптимальности структур технических систем необходимо для достижения основной цели – повышения уровня эффективности их функционирования.

Применительно к средствам производства, особенно в области сложных промышленных систем, можно отметить повышенную опасность недостаточной надёжности, так как она приводит к потерям, связанным с ликвидацией обнаруженного отказа в средстве производства (при его замене, при введении новых элементов и т.п.) и, кроме того, может привести к выпуску ненадёжных изделий, обслуживаемых данным средством.

С инженерной точки зрения надёжность характеризуется следующими факторами [1]:

1. Вероятность исправной работы за требуемый период времени.
2. Изменения характеристик прочности, возникающими при воздействии возможных нагрузок при их соотношении с допустимыми.
3. Значимость надёжности по сравнению с другими необходимыми характеристикам.
4. Затраты, необходимые для достижения заданного уровня надёжности системы.
5. Степень приближения уровня надёжности при массовом производстве к уровню, заложенному при конструировании сложной технической системы.
6. Оптимальность эксплуатации технической системы.

Рассматривая перечисленные характеристики, более подробно можно отметить следующие нюансы.

Требуемый рабочий цикл системы определяется через временной интервал. Имеется в виду среднее значение наработки на отказ и его отношение ко времени поиска и устранения неисправности. Следует отметить, что в некоторых случаях элементы системы могут находиться в состоянии готовности весьма длительное время, а подключаться в рабочий режим несколько раз или даже один раз за весь период. Требование достижения высокой надёжности зачастую вступает в противоречие с другими необходимыми характеристиками, такими как уменьшение размеров, получение высокой точности, низкой стоимости и т.п. Поэтому возникает вопрос, как оптимально выбрать необходимые количествен-

ные характеристики для получения компромиссного решения.

Существуют математические модели расчёта надёжности для каждого конкретного случая, основанные на ряде допущений, которые можно применить в этой области (например, абсолютная надёжность отдельных элементов системы). Несмотря на узкую специализацию, видны преимущества и необходимость создания методики расчёта, применимой ко многим техническим системам.

В работе Мамедли Э.М., Соболева Н.А. [2] рассматривается метод обеспечения отказоустойчивости при проявлении неисправностей в резервированных управляющих вычислительных системах определённого класса. Согласование результатов локальной обработки признаков неисправности для всех каналов как элементов системы обеспечено оригинальной структурой контрольных точек, а также алгоритмом обеспечения отказоустойчивости с использованием системного журнала, средств аппаратной поддержки и т. п. Предлагаются методы, незначительно снижающие производительность системы, но компенсирующие и предотвращающие возникающие в системе неисправности.

Любые реальные технические системы, относящиеся к объектам достаточно высокого уровня сложности, имеют иерархическую структуру. Некоторые авторы, например Т. Рийсмаа [3], предлагают свои подходы для описания и оптимизации структуры иерархических систем. Отмечается, что, так как свойства этих систем зависят от числа уровней разбиения, количества подмножеств разбиения на каждом уровне, то естественным образом встает задача оптимизации многоуровневого разбиения заданного множества объектов. Анализ прокатного стана с таких позиций позволяет выявить наряду с функционально заданными связями сложного технического сооружения, которым является стан, технологически обусловленные взаимодействия, значимые для решения задачи повышения надёжности анализируемой технической системы. При этом может применяться подход, основанный на пошаговом моделировании внешних воздействий.

Достаточно проблемной областью, в которой моделирование играет важную роль, по мнению Г.В. Рыбиной, являются, например, интегрированные экспертные системы реального времени, в которых подсистема моделирования окружающей среды используется для прогнозирования результатов принятия решений и диагностики состояния управляемых объектов [4]. Обоснованно отмечается, что для повышения эффектив-

ности моделирования часто необходимо идти по пути возможно более полного учета структурно-функциональных особенностей объекта моделирования, тем самым предельно возможно (в соответствии с техническим заданием) сужая «специализацию» алгоритма [5]. Но техническое задание зачастую учитывает достаточно широкую сферу применения разрабатываемых методик, и поэтому необходимо конкретно ставить задачу моделирования параметров надежности объекта прокатного производства.

Проверка адекватности модели описания компоновки различных уровней сложности технического объекта характеру распределения элементов узлов прокатных станов выполнялась на основе собранного в течение шести лет статистического материала, отражающего характеристики отказов технологических агрегатов стана горячей прокатки 2500.

При анализе отказов оборудования стана горячей прокатки 2500 доля выхода из строя по причине поломки валков доходила до 64,3%, причем наибольшее число остановок связано с работой клетки № 2, ремонт которой наиболее трудозатратен. Распределение отказов по времени суток имеет тенденцию к их росту при работе агрегатов в первую и вторую смены, что, по всей видимости, объясняется более напряженным графиком загрузки стана в эти часы.

Максимальное количество аварийных остановок вызвано разрушением нижнего рабочего валка в районе шеек. Усталостный характер разрушения требует разработки технологических решений, повышающих надежность отмеченных агрегатов и уточнения организации ремонтных воздействий для сокращения простоев по причине внезапных поломок.

Надежность станов в данном случае оценивается одним из наиболее информативных показателей – коэффициентом технического использования. Этот коэффициент характеризует долю фактического времени работы оборудования за рассматриваемый календарный период и к его анализу и синтезу должны применяться теории, описывающие структурные особенности сложных технических систем.

Для анализа системы используется системно-структурный подход, на основе которого входящие в систему элементы могут быть проклассифицированы. Традиционно любую сложную систему рассматривают как систему, состоящую из взаимодополняющих и взаимодействующих между собой элементов, которые вместе выполняют сложную функцию [6]. Классификация каждой из таких систем выполняется на основе разделения целого на составляющие по функциональным признакам.

Библиографический список

1. Richard H. Meyers, Kam L. Wong, Harold M. Gordy. Reliability engineering for electronic systems/ John Wiley & Sons, Inc., London, 1968. 426 p.
2. Мамедли Э.М., Соболев Н.А. Метод обеспечения отказоустойчивости в резервированных управляющих вычислительных системах // Автоматика и телемеханика. 2000. № 2. С. 172–182.
3. Рийсмаа Т. Описание и оптимизация структуры иерархических систем // Автоматика и телемеханика. 1993. № 12. С. 146–151.
4. Рыбина Г.В. Использование методов имитационного моделирования при создании интегрированных экспертных систем реального времени // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2000. № 5. С. 147–156.
5. Кузнецов Н.Ю. Взвешенное моделирование вероятности монотонного отказа системы при существенно различных характеристиках надежности ее элементов // Кибернетика и системный анализ. 2000. № 2. С. 45–54.
6. Савельев А.Н. Особенности формирования работоспособных технических систем // Изв. вузов. Чёрная металлургия. 1998. № 8. С. 69–75.

СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ В МЕТАЛЛУРГИИ

УДК 621.771

Чукин В.В., Артюхин В.И., Рубин Г.Ш., Вахитова Ф.Т., Гусева Е.Н.

ПРОБЛЕМА ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КРЕПЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ

В последнее время проблема повышения качества промышленной продукции приобрела чрезвычайное значение. Существуют объективные причины, которые потребовали особого внимания к проблеме качества продукции:

– во-первых, высокие темпы научно-технического прогресса привели к появлению принципиально новых видов изделий; усложняются технологические процессы, появляются новые методы и способы переработки исходных материалов; создаются ранее неизвестные материалы;

– во-вторых, на международном рынке обострилась конкуренция, которая, как известно, зависит от уровня цен и качества предлагаемых товаров. На первое место в конкурентной борьбе вышло качество продукции: побеждает тот, кто предлагает продукцию высокого качества по умеренным ценам. Из этого правила нет исключений, и с этим надо считаться [1].

Метизная подотрасль черной металлургии России развивается и обеспечивает прирост по всей номенклатуре с темпами, значительно опережающими темпы общепромышленного прироста потребляющих отраслей. В 2007 году рост промышленного производства метизов составил 14,7%.

Общий объем выпуска металлоизделий в России в 2007 году достиг уровня 3,2 млн т. Разработанные на метизных предприятиях инвестиционные программы предусматривают к 2010 году приближение объемов производства метизов в России к 4 млн т, что опережает прогнозируемый рост емкости внутреннего рынка. Чтобы избежать зависимости от нестабильного внутреннего потребления, метизные предприятия сохраняют ориентирование на увеличение экспортных поставок. Объемы экспорта метизных изделий ежегодно увеличиваются и в 2006 году составили 18% от общего объема производства. Чтобы довести объем экспорта до 25%, сохранить баланс внутреннего рынка и не допустить интервенции в импорте со стороны стран Юго-Восточной Азии, в метизной подотрасли осуществляется интенсивное тех-

ническое перевооружение производства, одним из основных направлений которого является повышение конкурентоспособности продукции путем улучшения ее качества [2].

Крепежные изделия – один из основных видов метизной продукции. Общее число типоразмеров крепежа составляет более 30 тысяч.

Для улучшения качества крепежной продукции необходимо совместное решение технических, технологических, организационных, экономических и социальных задач.

Основными тенденциями решения проблемы повышения качества крепежа являются:

- 1) совершенствование конструкций и освоение выпуска новых перспективных видов изделий;
- 2) улучшение качества передельного проката;
- 3) разработка новых мало- и безотходных технологий;
- 4) повышение стойкости инструмента;
- 5) замена устаревшего оборудования на современное.

В мировой практике широкое распространение получили изделия прогрессивных конструкций, которые, кроме своей основной задачи, выполняют еще и дополнительные функции. Например, исключают необходимость применения плоских шайб (болты и гайки с фланцем), сверлят отверстие и нарезают резьбу (самосверлящие и самонарезающие), раскатывают резьбу в гладких отверстиях (резьбовыдавливающие), стопорят соединение без шплинта, контргайки и пружинной шайбы (само-стопорящиеся). К таким изделиям относится также крепеж повышенной прочности и коррозионной стойкости, а также быстроустанавливаемый.

В настоящее время в условиях увеличения продаж легковых автомобилей, особенно зарубежного производства, на территории Российской Федерации наблюдается рост числа автосборочных предприятий и увеличение выпуска автомобилей ведущих мировых автопроизводителей. На достаточно высоком уровне остается объем производства и отечественных автомобилей.

Рынок автомобильного крепежа в РФ ориентирован, главным образом, на потребности традиционных отечественных марок, таких как «ВАЗ», «КАМАЗ», «ГАЗ» и др. Поставки отечественных метизных предприятий на сборочные производства иностранных марок ограничены из-за неудовлетворительного качества крепежных изделий. В условиях жесткой конкуренции и возросших требований к качеству данного вида продукции наблюдается увеличение закупок автокомпонентов у зарубежных производителей.

Сравнение продукции, выпускаемой российскими предприятиями, с аналогичными изделиями западных производителей автомобильного крепежа показало, что значительная часть отечественной продукции морально устарела, не отвечает современным требованиям по качественным показателям и не соответствует конструкции новых автомобилей. Основными причинами такого положения являются:

- недостаточные ассортимент и качество производимой отечественными металлургическими заводами стали и заготовок;
- несоответствие современному уровню парка производственного оборудования метизных заводов;
- утрата кадрового потенциала;
- отсутствие современных систем управления качеством в метизном производстве.

В последнее время резко возросло количество заказов на изготовление высокопрочного крепежа – перспективного вида метизной продукции для машиностроения, мостостроения, монтажа металлических конструкций. Действующие технологии изготовления данного вида продукции ориентированы на достижение сравнительно невысоких показателей прочности изделий, соответствующих классу 8.8. Изготовление востребованного на рынке крепежа более высоких классов прочности, особенно для изделий увеличенных сечений, требует применения новых марок стали и корректировки методов их деформационно-термической обработки. Использование же традиционных материалов и методов их переработки не обеспечивает резерва для дальнейшего повышения прочностных свойств и улучшения качества продукции.

Следовательно, необходимо освоение производства крепежных изделий современных конструкций и высокого качества, имеющих повышенные потребительские свойства и низкую себестоимость.

Снижение себестоимости крепежа напрямую зависит от расхода металла при его производстве. Основной причиной повышенного расхода

металла следует считать наличие бракованных изделий из проката с дефектами металлургического и прокатного производства. Например, отбраковка по дефектам "трещины" и "вырывы" горячекатаного проката, которые образовались в процессе штамповки или накатки, составляла от 1 до 20% [3]. Поэтому при производстве крепежных изделий расход металла можно уменьшить путем улучшения качества исходного проката.

К металлу, применяемому для изготовления крепежных изделий, предъявляются следующие основные требования:

- металл должен иметь точные размеры для того, чтобы соблюдалось заданное соотношение размеров проволоки и применяемого инструмента при посадке, а также равенство объемов деформируемой части заготовки и полости ручья. К геометрической форме проволоки предъявляют жесткие требования. Овальность проволоки, то есть разность размеров по двум взаимно перпендикулярным направлениям, не должна превышать 0,01–0,04 мм, отклонения по диаметру – 0,02–0,08 мм в зависимости от диаметра;

- проволока должна быть чистой, без окалины, которая отрицательно влияет на работу холодно-высадочного оборудования. Окалина при отрезке заготовки отскакивает, зажимается между отрезным ножом и матрицей, попадает на направляющие ползуна и пуансонной головки и действует на поверхности скольжения, как наждак, вызывая постепенно износ и защемление движущихся частей.

- на проволоке, предназначенной для холодной высадки, наличие дефектов металлургического и прокатного производства недопустимо. Трещины, волосовины и другие поверхностные дефекты возникают как при разливке стали в изложницы, так и при прокатке. Закаты образуются при неправильной настройке валков прокатного стана. Рыхлость и усадочные раковины остаются на прокатанном металле из-за неполного удаления верхней части слитков на ножницах прокатного стана. Перечисленные дефекты проволоки не устраняются в процессе волочения, а при высадке они раскрываются в трещины.

В 2007 году, благодаря осуществлению металлургическими холдингами инвестиционных проектов, связанных с передельным прокатом, в частности реконструкция сортопрокатного производства на «ММК», стало возможным освоение новых видов метизной продукции, расширение объемов производства и обеспечение сбалансированности внутреннего рынка метизов. В дальнейшем необходима продуктивная совместная работа прокатчиков и метизников по совершенствованию качества передельного проката; наиболее крупные

задачи – изготовление катанки размером 5,5 мм повышенной деформируемости для производства саморезов, изготовление конструкционного сорта боросодержащих и легированных марок сталей с повышенной чистотой поверхности для производства высокопрочного монтажного крепежа [2].

Однако соблюдение технологических требований и рекомендаций по структуре и механическим свойствам металла не может полностью гарантировать отсутствие брака в изделиях, так как существуют и другие факторы, влияющие на качество продукции. Дефекты в изделиях могут образовываться вследствие несоблюдения технологических режимов штамповки и термической обработки, неправильной настройки и низкого качества инструмента, износа оборудования, недостаточной квалификации персонала. Таким образом, соблюдение технологической дисциплины и четкая работа ОТК положительно отражаются на качестве изделий и расходе металла.

В настоящее время наиболее актуальными считаются разработка и внедрение ресурсосберегающих малоотходных технологий, обеспечивающих минимальный расход металла и экономию вспомогательных материалов. К таким технологиям относятся:

- безоблойная высадка шестигранных и фасонных головок болтов;
- формирование внутренней резьбы в гайках пластическим деформированием без снятия стружки;
- изготовление клеммных и закладных болтов с минимальным облоем (или без облоя);
- изготовление высокопрочного крепежа из боросодержащих сталей с закалкой в технической воде вместо масла;
- замена пруткового металла на бунтовой и др.

Наряду с новыми ресурсосберегающими технологиями предлагается также внедрение систем мониторинга для обеспечения требуемого уровня качества продукции и стабильности производства.

Новые эффективные технологии требуют использования технологического инструмента прогрессивных конструкций и соответствующей химико-термической или других видов обработки. Например, применение бесстружечных метчиков, плашек для накатки резьбы методом поперечно-клиновой прокатки, секторных матриц для безоблойной высадки головок болтов, инструмента с кластерным покрытием и лазерной обработкой и др. Низкая стойкость инструмента связана, прежде всего, с быстрым изнашиванием и коррозионным повреждением его поверхностных слоев. Для устранения или торможения этих процессов применяют упрочнение и направленное изменение

свойств поверхностных слоев, в том числе нанесение износостойких покрытий на основе нитридов, карбидов и карбонитридов тугоплавких металлов.

Одним из основных факторов, влияющих на качество крепежных изделий, является состояние и степень износа оборудования. Поэтому замена устаревших моделей на высокопроизводительные автоматы, в том числе с числовым программным управлением, весьма своевременна.

Так, в 2007 году компания «ММК–МЕТИЗ» осуществила программу концентрации производства, объединив Магнитогорский калибровочный и метизно-металлургический заводы в одно предприятие, провела целенаправленную работу по внедрению современного оборудования и технологий производства. Введен в эксплуатацию участок мощностью 1200 т по производству самонарезающих винтов, который состоит из холодновысадочных автоматов фирмы «Waflios» (Германия) и итальянской линии химикотермической обработки винтов фирмы «Automationervice» [2].

Для достижения высоких показателей качества серийной продукции необходима максимальная автоматизация процесса с применением систем контроля за работой оборудования и технологическими операциями. Анализ рекламаций к качеству крепежа показывает, что значительная доля претензий предъявляется к появлению на изделиях трещин и надрывов во время штамповки. Полностью устранить брак по этим причинам можно только при пооперационном контроле процесса и автоматической отбраковке дефектных заготовок. Данная задача решена рядом известных зарубежных фирм, выпускающих оборудование для производства крепежных изделий, например: фирмами «Nedschroef-Herentals» (Нидерланды – Бельгия), «Peltzer and Ehlers» (Германия), «Sakamura» (Япония), «National Machinery» (США), «Hatebur» (Швейцария), «Sacma» и «Ingramatic» (Италия) и др.

Применение систем пооперационного контроля технологических процессов позволяет:

- улучшить условия труда;
- уменьшить расход проката, поскольку происходит автоматическая настройка на минимальный диаметр под обрезку (при штамповке болтов).

Контроль усилия резки и момента снятия обреза позволяет:

- сократить отходы металла;
- уменьшить расход инструмента, так как его состояние контролируется по усилиям технологических операций и при его выработке появляются отклонения от средних значений усилий;

- контролировать качество изделий и отбраковывать некачественные;
- упростить сбор и обработку технологических данных, индикацию состояния оборудования, составление таблиц эффективности;
- сократить время наладки;
- повысить коэффициент использования оборудования;
- наладить многостаночное обслуживание.

Следовательно, повышается рентабельность продукции и производства, что увеличивает прибыль предприятия [4].

Проблема качества сложна и многогранна, и решить ее можно только при осуществлении комплекса мероприятий. Использование оборудования нового поколения с автоматическими системами контроля позволяет применять наиболее эффективные ресурсосберегающие технологии и гарантировать высокое качество и конкурентоспособность продукции при условии поставки качественного исходного проката, применения технологического инструмента прогрессивных конструк-

ций и использования упрочняющей обработки.

Метизный бизнес специфичен. Лидирующие позиции на рынке занимают качество, соответствие ГОСТам и техническим условиям, наличие и объем необходимых покупателю изделий. Чем больше диапазон качественных изделий, тем больше возможностей для завоевания рынка. Успех метизного бизнеса определяется не только качеством отдельных видов изделий, но и качественными характеристиками производимого сортамента в целом. Понятие «качество» многопланово само по себе, а применительно к метизам имеет особую специфику: требования к данному виду продукции формируются в сфере потребления [5].

Таким образом, необходимо учитывать, что крепеж по своему качеству должен соответствовать требованиям потребителя, которые постоянно изменяются. Следовательно, нельзя останавливаться на достигнутом уровне качества. Необходимо непрерывно совершенствовать производство данного вида продукции.

Библиографический список

1. Рашников В.Ф., Салганик В.М., Шемшурова Н.Г. Квалиметрия и управление качеством продукции: Учеб. пособие. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2000. 184 с.
2. Арсеньев В.В. Направления технического перевооружения метизного производства // Материалы VII конгресса прокатчиков. М., 2007.
3. Связь качества штампованных крепежных изделий с состоянием исходного металлопроката / Рудаков В.П., Пестряков А.П., Кузнецова А.И., Полякова М.А. // Производство проката. 2003. № 7. С. 19–22.
4. Гуров В.Д., Виноградов А.Г. Улучшение качества крепежных изделий и снижение расхода металла при их производстве // Сталь. 2005. № 12. С. 52–54.
5. Носов А.Д., Рубин Г.Ш. Качество сортамента метизного производства – методологические проблемы оценки // Производство конкурентоспособных метизов: Сб. науч. тр. / Под ред. Носова А.Д. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. Вып. 1. 186 с.

УДК 338.24:334.758.4

Аленина М.Н., Кузнецова Е.Н., Шемшурова Н.Г.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА ХОЛДИНГОВЫХ КОМПАНИЙ НА ОСНОВЕ БЕНЧМАРКИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящее время холдинги становятся наиболее популярной формой правовой и экономической организации предприятий, так как они имеют ряд значительных преимуществ перед неконсолидированными предприятиями: возможность создания замкнутых технологических цепочек от добычи сырья, выпуска готовой продукции и до доведения ее до конечного потребителя; экономия на торговых, маркетинговых и прочих издержках; использование преимуществ диверсификации производства; единая налоговая

и финансово-кредитная политика, возможность варьировать финансовыми и инвестиционными ресурсами в рамках холдинговой системы; размещение инвестиций по различному ряду производств снижает степень риска, обеспечивает стабильность доходов при колебаниях курса акций и размера дивидендов.

Создание холдинговых компаний позволяет мелким и средним коммерческим структурам выжить в мире большого бизнеса. Их эффективность обобщенно можно выразить следующим

образом: они страхуют от финансовых потерь, позволяют реализовать задачи, не решаемые на уровне отдельного предприятия, оптимизировать связи между предприятиями.

Поэтому объединение двух производственных предприятий с аналогичными видами продукции – ситуация вполне типичная. Схема холдинговой компании, о которой идет речь, представляет собой следующее: головная компания консолидировала в себя службы двух дочерних предприятий: маркетинг, службы снабжения и сбыта, механическую и энергетическую службы, испытательную и метрологическую лабораторию, службу качества. Таким образом, предприятия стали представлять собой только производственные площадки.

При объединении предприятий в холдинг руководство сталкивается с проблемой построения системы менеджмента качества в рамках новой организационной структуры. В этом случае возможны два варианта решения проблемы: создание абсолютно новой системы качества либо выбор системы одного из предприятий.

Чаще, чтобы не затрачивать временные, человеческие и финансовые ресурсы, руководство идет по второму пути. Поэтому далее стоит вопрос: какую систему выбрать, ведь предприятия до объединения работали каждый по своей отлаженной временем и опытом схеме, и так как ранее эти предприятия не имели планов на слияние, в подходе к разработке систем качества каждое имело свой взгляд на вещи [1].

Для решения данной проблемы можно использовать такие методы, как стоимостной анализ, анализ системы менеджмента качества, бенчмаркинг.

Возможен также вариант с использованием реинжиниринга процессов и создания абсолютно новой системы менеджмента качества для новой холдинговой структуры.

Но следует отметить следующее: две работающие и приносящие неплохие результаты системы качества – слишком большая жертва в угоду прогрессу. Ведь отлаженная временем и опытом эффективная система качества является сама по себе большой ценностью, а заключенное в ней требование к постоянному улучшению – и есть путь к прогрессу.

Таким образом, совершенно логично предположить, что в данном случае вовсе не требуются большие затраты времени, рабочей силы и денежных средств. Поставленную задачу можно решить, ограничившись разумным выбором той или иной системы менеджмента качества, и в рамках некоторых закономерных изменений, связанных с из-

менениями организационной структуры, найти пути улучшения будущей системы.

При выборе системы качества для новой организационной холдинговой структуры чаще всего руководство идет по пути минимизации затрат: за основу выбирается та система, затраты на которую у предприятия меньше. Но основная ошибка заключается в том, что при этом не рассматриваются фактические затраты на качество, такие как на предупреждение несоответствий (входной контроль, совершенствование технологии, обучение персонала и др.), на оценку качества (технический контроль процессов производства, метрологическое обеспечение, внешние проверки качества продукции и системы), на внутренние и внешние потери от несоответствий, а учитываются лишь затраты, конкретно связанные с содержанием системы качества, т.е. стоимость аудитов и сертификации системы качества [1].

Помимо стоимостного анализа руководство может прибегнуть как к анализу процессов, так и систем качества в целом. Тем более, что это сделать это не трудно, т.к. в соответствии со стандартами ИСО серии 9000 организация, внедрившая систему менеджмента качества, должна постоянно проводить анализ результативности и эффективности ее функционирования и документировать результаты анализа. Здесь решающее значение имеют достоверность данных, представленных в отчетах, и компетенция персонала, систематизирующего и анализирующего эти данные.

Чтобы не полагаться на субъективные суждения и выводы, логичнее использовать независимую и объективную экспертную оценку. Именно такую оценку обеспечивает бенчмаркинг, который помогает выбрать не только наиболее результативную систему качества, но и процесс, то есть объективно сравнить два существующих процесса и остановиться на более приемлемом.

Бенчмаркинг – это непрерывный поиск новых идей и последующее использование их на практике. Сущность бенчмаркинга заключается, во-первых, в сравнении показателей своей организации с показателями конкурентов и лучших организаций, во-вторых, в изучении и применении успешного опыта других у себя в организации [2].

Существует несколько видов бенчмаркинга, и тот, который использовали мы, можно назвать внутренним, так как он проводился внутри одной компании, но при этом учитывали опыт двух организаций, до консолидации являющихся абсолютно независимыми.

Процесс проведения бенчмаркинга включает в себя определенные этапы. Использование внутреннего бенчмаркинга позволило исключить неко-

торые из них, связанные с поиском и установлением отношений с партнерами по бенчмаркингу.

Таким образом, процесс проведения бенчмаркинга включал в себя следующие этапы:

- выявление объектов бенчмаркинга;
- определение наиболее подходящего метода сбора информации;
- сбор данных;
- установление имеющихся отставаний по выбранным показателям эффективности;
- установление желаемых уровней эффективности работы компании;
- доведение результатов бенчмаркинга до всех заинтересованных сторон и получение помощи в их применении на практике;
- установление конкретных целей и задач в области повышения эффективности функционирования компании;
- разработка планов мероприятий по их достижению и решению;
- проведение запланированных мероприятий и отслеживание их результатов;
- пересмотр ранее выбранных ориентиров для бенчмаркинга.

В качестве *объектов бенчмаркинга* использовали факторы, полученные в результате причинно-следственного анализа Исикавы (см. **рисунок**): структуру системы менеджмента качества, т.е. определение процессов и их количества; организацию и описание процессов; взаимодействие процессов и обратную связь между процессами, т.е. скорость реакции предыдущего процесса на несоответствия, выявленные в других процессах; мониторинг и контроль процессов; анализ результативности процессов; назначение и выполнение корректирующих и предупреждающих действий.

В результате проведения бенчмаркинга ожидаются следующие улучшения:

- более четкая организационная структура системы качества холдинга, основанная на опыте двух предприятий, что позволит исключить необоснованное увеличение коли-

чества процессов, а также описать деятельность предприятия, которая ранее не участвовала в системе, в качестве процесса;

- улучшение взаимодействия основных, вспомогательных и производственных процессов, которое ранее затруднялось наличием в холдинге аутсорсинговых для обоих предприятий процессов и сложностью их мониторинга и контроля;
- более эффективное выявление несоответвий системы и назначение и реализация корректирующих и предупреждающих действий.

Для проведения бенчмаркинг-исследования была организована экспертная группа, в которую вошли специалисты отдела системы менеджмента качества. Источниками данных для проведения исследования послужили:

- стандарты ИСО серии 9000;
- документация предприятия, регламентирующая деятельность по процессам и системе качества в целом (руководство по качеству, стандарты СМК, инструкции, положения и т.д.).

В качестве *методов сбора* информации использовали:

- проведение аудита процессов системы менеджмента качества;
- анкетирование потребителей.

Структура системы менеджмента качества первого предприятия (система А) имеет три ранга процессов: руководящие, основные и вспомогательные. Каждому процессу определены: владелец, измеряемые критерии и методы, необходимые для обеспечения результативности работы и управления.

Процессы системы А описаны в виде блок-схем, что является несомненным преимуществом и значительно облегчает понимание и видение процессов, так как помимо хода процесса видны участники, задействованные в процессе, и даны комментарии по каждому действию процесса.

Входные и выходные данные представлены в виде схемы потоков.

Система А построена на процессном подходе, каждый процесс имеет кроме владельца процесса, еще и ответственного исполнителя. Такая схема была выбрана, чтобы процесс был управляемым и имел необходимые ре-

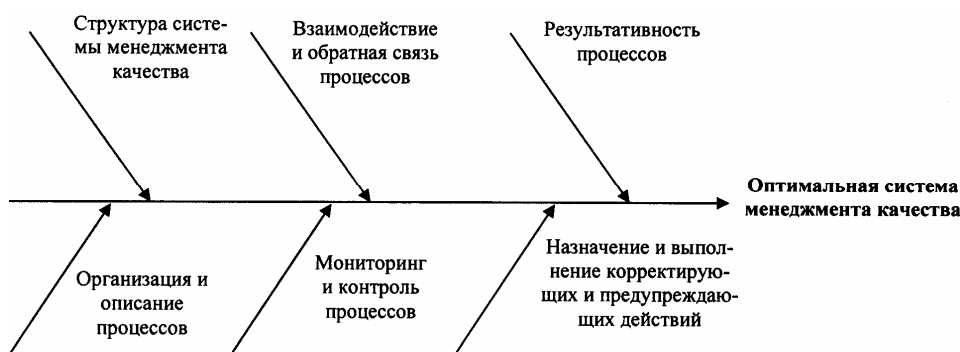


Рис. 1. Диаграмма Исикавы для оптимальной системы менеджмента качества

сурсы для своей деятельности. При существующей организационной структуре предприятия нет другой возможности организовать управление вспомогательными процессами (схема двойного управления типична только для вспомогательных процессов).

В системе *A* имеется схема потоков процессов жизненного цикла продукции (основных процессов), которая информативна, понятна и проста к восприятию.

Все процессы системы менеджмента качества второго предприятия (система *B*) делятся на:

- ключевые процессы;
- процессы менеджмента;
- основные процессы;
- вспомогательные процессы.

В системе *B* описаны только ключевые процессы, схема процесса дает представление о владельце (хозяине) процесса, входных и выходных данных, этапах выполнения процесса и устанавливает критерии оценки процесса, но не позволяет проследить действие процесса во времени и установить взаимосвязь между исполнителями и конкретными этапами процесса.

Но также существует большое количество подпроцессов нижних уровней, входящих в ключевые процессы, которые не имеют графического представления.

Система *B* организована по функциональному принципу, у ключевых процессов есть хозяева, они также отвечают за деятельность процессов нижнего уровня. Очень сложно одному хозяину ключевого процесса управлять различными по своей сути подпроцессами (до 12 процессов нижнего уровня имеет хозяин ключевого процесса). Кроме того, в системе *B* абсолютно отсутствуют схемы какого-либо взаимодействия процессов, очень сложно из имеющихся схем процессов уловить из какого конкретно процесса какой поток (информационный, материальный, финансовый) исходит.

Для оценки результативности процессов установлены критерии, которые качественно и количественно оценивают работу процесса.

В ходе анализа подхода к построению систем качества предприятий выявлено следующее:

- система *A* организована достаточно компактно и охватывает практически все области организации управления предприятием. Однако не хватает детализации для более четкого понимания и вовлечения персонала в работу системы, что очень важно на первых этапах внедрения системы качества. Небольшое, но достаточное для зрелой системы количество процессов является недостатком при первичном построении

системы, так как не охватывает весь управленческий персонал и, следовательно, не дает возможности руководителям низших уровней получить представление о деятельности своих подразделений. Если бы система *A* продолжала работать и развиваться в первичных условиях, т.е. в условиях одного предприятия, при дальнейшем улучшении могла бы дать прекрасные результаты, но для более крупного предприятия, персонал которого должен воспринимать ее уже как данность, она слишком сложна для внедрения;

- система *B* основана на организационной структуре предприятия, что, с одной стороны, является ее недостатком и даже несоответствием, так как нарушается принцип процессного подхода, но, с другой стороны, возможно и достоинством, так как ответственность и полномочия руководства закреплены и в управлении предприятием, и в менеджменте качества. Таким образом, действует принцип единоначалия, что неплохо для первых шагов внедрения системы качества и значительно облегчает не только понимание ее руководством, но и вовлечение персонала в эту систему;

- недостатком системы *B* является отсутствие таких важных процессов, как «Стратегическое развитие», «Мониторинг СМК» (аудиты), «Анализ и улучшение»;

- ни одна из систем не имеет хорошей управляемости процессами, но в системе *A* это частичная проблема, так как только вспомогательные процессы имеют двойное управление. В системе *B* при функциональном построении очень сложно придумать другую схему управления процессами, что при имеющейся жесткой вертикальной иерархии системы не логично и не нужно;

- если исходить из принятого руководством решения о функциональном построении системы, то необходимо налаживать вертикальные и горизонтальные связи между процессами с помощью дополнительного построения схем взаимодействия процессов нижних уровней и их руководителей, и при должном уровне информационных потоков процессы могут быть вполне управляемы;

- сложно определить, насколько быстро реагируют процессы на несоответствия, так как ни в одной из систем нет графического представления потоков;

- системы *A* и *B* имеют аналогичные виды мониторинга и измерения процессов. Каждый процесс имеет владельца (руководителя), который осуществляет мониторинг своего процесса по установленным критериям результативности. Осуществляется мониторинг со стороны заказчиков и государственных надзорных органов.

Кроме того, предусмотрены следующие виды мониторинга и измерений процессов:

- проверки соблюдения технологической дисциплины;
- проверки состояния оборудования/инфраструктуры;
- метрологический надзор за средствами измерений и метрологическая экспертиза конструкторской и технологической документации;
- проверки производственной среды;
- операционный и приемочный контроль;
- оценка поставщиков;
- оценка удовлетворенности потребителей;
- внутренние аудиты системы менеджмента качества.

Результаты мониторинга регистрируются и анализируются владельцами процессов и ответственным за систему менеджмента качества общества.

Результаты анализов и оценки служат основанием для назначения корректирующих и/или предупреждающих мер.

Следует отметить, что объем и качество проверок вполне соответствуют требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2001. Каждый процесс проходит мониторинг с нескольких сторон – владельцем процесса, аудитором и ответственным за систему менеджмента качества. Кроме того, внутри процессов осуществляются предметные проверки, например метрологический надзор в цехах.

Основное требование к критериям оценки – это максимальная информативность о деятельности процесса, и, конечно же, каждый критерий должен иметь количественное выражение.

В системе *A*, как уже говорилось ранее, каждый процесс имеет свои критерии оценки, с точки зрения их информативности вполне достаточные, чтобы сделать вывод о деятельности процесса. В целом все процессы функционируют нормально, есть несоответствия, но они своевременно выявляются, назначаются и выполняются корректирующие действия.

В системе *B* установлены критерии только для оценки ключевых процессов, процессы нижних уровней предоставляют информацию о своей деятельности в свободном виде. Так как деятельность этих процессов очень обширна, для объективной оценки процесса потребовалось бы значительное количество критериев (хотя бы по одному на каждый вид деятельности). Количество критериев, используемых для оценки процессов системы *B*, явно недостаточно.

При анализе отчетов о проведенных аудитах и по результативности функционирования процес-

сов выявлено, что все процессы функционируют на «отлично» (80–100% выполнение). Возможно, оценка была бы несколько ниже, если бы проводился мониторинг процессов нижнего уровня. Тем не менее, все установленные цели перед процессами достигнуты, и отклонения от запланированных показателей составляют не более 10%.

На основании анализа критериев оценки результативности процессов можно сделать следующие выводы:

- все процессы систем проходят мониторинг и оценку, для оценки результативности процессов установлены критерии;
- критерии оценки ключевых процессов системы *B* не дают полной информации о деятельности процессов, так как их количества явно недостаточно. Рекомендуется установить дополнительные критерии для оценки процессов нижнего уровня и проводить также и их оценку, либо довести количество критериев ключевых процессов до необходимого уровня.

Система *A* предпринимает корректирующие действия как средство устранения причин несоответствий с целью предотвращения их повторения. Основанием для разработки корректирующих действий являются выявленные несоответствия. Источниками информации для анализа несоответствий и назначения корректирующих действий являются:

- претензии и рекламации потребителей;
- отчеты о несоответствиях;
- отчеты о внутренних и внешних аудитах;
- отчеты по результатам анализа со стороны высшего руководства;
- данные об удовлетворенности заинтересованных сторон.

Планирование корректирующих действий осуществляется с учетом важности возникшей проблемы. На предприятии уделяется значительное внимание выработке и реализации предупреждающих действий, направленных на устранение причин потенциальных несоответствий и их возможных последствий.

Основанием для разработки предупреждающих действий могут быть результаты анализа:

- степени выполнения требований к продукции, технологии;
- данных об удовлетворенности заинтересованных сторон;
- информации о конкурентах и внешней среде;
- информации по повышению конкурентоспособности предприятия;
- отчетов по аудитам;
- данных о качестве, в том числе со стороны высшего руководства предприятия.

Корректирующие действия системы *Б* разрабатываются в случае невыполнения целей, поставленных перед процессами и в случае появления несоответствий в повседневной деятельности.

Специалисты изучают тенденции, которые могут вызвать потенциальную возможность возникновения несоответствий. Предупреждающие действия предпринимаются, когда потенциальное несоответствие установлено специалистами в результате анализа зарегистрированных данных из различных источников информации.

В качестве вывода стоит отметить, что процедура назначения и выполнения корректирующих и предупреждающих действий на обоих предприятиях осуществлялась хорошо, о чем свидетельствует постоянное снижение несоответствий. Большая разница в количестве несоответствий в системе *А* не говорит о преимуществе системы *Б*, о ее лучшей организации и работе, напротив, характеризует недостаточное качество выполнения процедуры выявления несоответствий (при проведении аудита объединенного завода было выявлено в 4 раза больше несоответствий). Все дело в функциональном построении системы: верхушку (ключевые процессы) проверяли, а до подпроцессов не доходили. В связи с этим рекомендуется пересмотреть методику проведения аудитов и, используя функциональный подход системы, проверять не процессы, а каждое подразделение завода.

Суммировав результаты анализа объектов бенчмаркинга, можно сделать вывод, что для достижения основной цели следует выполнить следующие условия (Кузнецова Е.Н. Разработка системы менеджмента качества холдинга ОАО «ММК-МЕТИЗ» с помощью бенчмаркинга: Дипломная работа):

- система менеджмента качества должна быть построена по функциональному принципу, так как нецелесообразно брать для объединенного завода сложную для восприятия неподготовленным персоналом систему *А*. Использование старой системы позволит увеличить понимание и вовлечение персонала, а также повысит ответственность руководитель среднего и низшего уровней. Тем более, что ГОСТ Р ИСО 9004-2001 допускает такой вариант по решению руководства: «5.5.1

Высшему руководству следует определить и довести до сведения персонала ответственность и полномочия с целью внедрения и поддержания в рабочем состоянии результативной и эффективной системы менеджмента качества» [3]. Со временем следует запланировать отойти от функциональной организации системы менеджмента качества и перейти к конкретным процессам, которые будут охватывать горизонтальные линии управленческой системы;

- дополнить систему процессами, которые будут регламентировать деятельность по управлению измерениями, анализом и улучшением, а также по управлению стратегическим развитием компании;
- выбрать более информативный способ описания процессов, например в виде блок-схем. А так как невозможно изобразить таким образом ключевые процессы, рекомендуется описать процессы нижних уровней;
- для понимания взаимосвязи процессов и мониторинга обратной реакции процессов рекомендуется описать взаимодействие процессов при помощи IDF 0-схем;
- для мониторинга и измерения результативности функционирования процессов необходимо установить достаточное для объективной и разносторонней оценки количество критериев;
- при проведении внутренних проверок использовать тот же принцип, на котором построена система (функциональный), и проверять не только ключевые процессы, как ранее, а все подразделения, участвующие в них.

Исходя из результатов бенчмаркингowego исследования руководство предприятия предприняло следующие действия: система качества объединенного завода построена на базе системы менеджмента качества предприятия *Б*, но с добавлением недостающих процессов. Кроме того, появилось описание процессов жизненного цикла в виде схемы потоков, и проведенный аудит охватил все подразделения предприятия. В настоящее время система менеджмента качества объединенного завода сертифицирована на соответствие требованиям ИСО 9001-2000.

Библиографический список

1. Алена М.Н. Особенности построения системы менеджмента качества холдинговых компаний // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: Межвуз. сб. науч. трудов / Под ред. Б.А. Никифорова. Магнитогорск: МГТУ, 2005. С. 209–214.
2. ГОСТ Р ИСО 9004-2001. Система менеджмента качества. Рекомендации по улучшению деятельности.
3. Шоттмиллер Джон К. Руководство по бенчмаркингу // Деловое совершенство. 2005. № 4. С. 32–41.

ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И РЫНОК ПРОДУКЦИИ

УДК 658.7:669.06.048.88

Файнштейн С.И., Тутарова В.Д., Калитаев А.Н., Букреев А.Ю., Колесников Е.Ф.

ОПЕРАТИВНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ НА СКЛАДАХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

1. Актуальность

Анализ работ по планированию и управлению производством отечественных предприятий показал, что главной задачей, дающей наибольший экономический эффект, является оперативное управление производством, которое является своеобразным индикатором достигнутого уровня организации производства. Оперативное управление производством, в свою очередь, невозможно без оперативного планирования (ОП), то есть развертывания плана выполнения работ во времени. Однако реализовать оптимизационные методы в оперативном планировании крайне сложно.

Оптимизация краткосрочного планирования требует оперативной переработки больших объемов информации и проведения трудоемких расчетов. Кроме того, аргументированное составление и последующая четкая реализация краткосрочных планов должны основываться на формализованных производственных маршрутах движения продукции (в нашей задаче – металла), в противном случае неизбежны ситуации, когда краткосрочные планы не будут своевременно обеспечены необходимыми ресурсами и, следовательно, окажутся невыполнимыми.

Таким образом, эффективное краткосрочное планирование невозможно без тщательно проработанного математического аппарата и применения средств вычислительной техники.

Решение данной проблемы планируется рассмотреть на примере организации склада готовой продукции листопрокатного цеха № 4 (ЛПЦ-4) ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Склад готовой продукции состоит из складов слябов, рулонов и пачек. В данной работе будет рассмотрен склад пачек. Предварительно были собраны исходные данные, отражающие работу этого участка цеха, и определены ограничения и допущения, предлагаемые для применения к разрабатываемому алгоритму размещения готовой продукции.

Склад готовой продукции, предназначенный

для размещения, хранения и отгрузки пачек с листами ЛПЦ-4 состоит из территории, схематично представленной ниже.

2. Эвристическая модель склада

Для решения задачи оперативного планирования складских операций обратимся к эвристической модели пространства состояний, нашедшей широкое применение в робототехнике. С точки зрения робототехники в модели «СКЛАД» исполнителем допустимых операций является подъемный кран грузоподъемностью 10 т, а целью оперативного планирования – составление для исполнителя плана последовательных действий. Для корректного построения модели нам нужно определить:

- начальное состояние задачи;
- допустимые операции (ходы), переводящие задачу из одного состояния в другое, причем каждому ходу сопоставляется некоторая стоимость;
- терминальные (целевые) состояния, по достижении которых задача считается решенной и выбрать стратегию управления поиском.

Заметим, что цель поиска заключается не в том, чтобы сформировать для исполнителя план перевода задачи из начального состояния в терминальное, а в том, чтобы исполнитель сделал это последовательностью ходов минимальной стоимости.

Начальное состояние задачи

Центральным объектом нашей модели является склад. Готовая продукция поступает на склад с одного из **R агрегатов резки**, причем номер агрегата резки определяет диапазон возможного типоразмера продукции и отгружается в один из тупиков.

Непосредственно **склад** состоит из **L** параллельных **линий ячеек** стандартной площади и конфигурации, в разных линиях может находиться разное количество ячеек. Кроме того, в каждой линии склада имеется одна особая безразмерная ячейка, называемая **изолятор**, и каж-

дая линия ячеек имеет один **тупик**, куда производится отгрузка.

Минимальный элемент любой операции размещения/отгрузки – **пачка** – может находиться в одном из трех состояний:

- пачка, еще не размещенная на складе;
- пачка, размещенная на складе в составе неотгруженного заказа;
- неостребованный остаток.

Пачка обладает следующими признаками:

- 1) номером агрегата резки;
- 2) типоразмером: маркой стали, длиной, шириной, толщиной, весом, высотой;
- 3) назначением (товар, нетовар, экспорт);
- 4) номером, указывающим на принадлежность некоторому заказу, либо нулем, если пачка является неостребованным остатком.

Если пачка еще не размещена, то она, помимо трех вышеперечисленных признаков, имеет **дату размещения на складе** и **дату отгрузки**. Размещенная пачка еще не отгруженного заказа имеет дату отгрузки. Неостребованный остаток имеет нулевую дату отгрузки.

Заказ имеет уникальный номер и состоит не более чем из N пачек с одинаковыми признаками: агрегатом резки, типоразмером, назначением, датой размещения и датой отгрузки.

Ячейка может быть либо пустой, либо содержать двумерный массив штабелей. Количество штабелей в одной ячейке зависит от типоразмера составляющих их пачек и варьируется от 1 до $LMax$ по длине ячейки и от 1 до $WMax$ по ширине.

Штабель – последовательность пачек, уложенных друг на друга. Высота штабеля ограничена числом $MaxH$, которое зависит от типоразмера пачек. Штабель, состоящий из 0 пачек, будем называть **пустым**.

Допустимые операции

Возможны три типа **допустимых операций**, переводящих склад из одного состояния в другое: **размещение, перекаладывание и отгрузка**. Эти операции производятся либо над отдельной пачкой, либо над **стопкой** – последовательностью не более V пачек, уложенных друг на друга. Ограничение на количество пачек в стопке зависит от типоразмера пачек и грузоподъемности крана.

1. Существуют три разных типа операций размещения.

Текущая пачка/стопка:

- размещается в пустом штабеле;
- укладывается поверх непустого штабеля с учетом ограничения H на высоту штабеля;
- размещается в изоляторе.

Будем считать допустимым размещение па-

чек из одного заказа в разных штабелях и разных ячейках.

2. Операция перекаладывания заключается в следующем.

Перекаладываемая пачка/стопка снимается с верха непустого штабеля и затем размещается согласно пункту 1.

3. Операция отгрузки заключается в следующем. Отгружаемая пачка/стопка снимается с верха штабеля и удаляется в тупик. Будем считать допустимой операцией отгрузку продукции в тупик непосредственно с агрегата резки, минуя склад.

Как уже говорилось, исполнителем допустимых операций является кран. Примем следующее допущение: два крана не могут одновременно производить операции над одной и той же ячейкой и не могут одновременно отгружать один и тот же заказ. Таким образом, сколько бы у нас не было кранов, работающих параллельно и независимо друг от друга, операция размещения/отгрузки одного заказа **планируется для одного крана**.

Терминальные состояния

При описании терминальных состояний задачи следует учесть, что процесс размещения и отгрузки заказов разворачивается во времени. Будем считать, что у нас есть некоторый **расчетный период времени**, для определенности месяц. Для каждого размещаемого на складе и отгружаемого со склада заказа известна **дата (день, месяц, год)** выполнения операции, но не известно время суток (час), когда заказ поступит на склад для размещения или, наоборот, будет отгружаться.

Таким образом, информация о том, что и когда будет размещаться/отгружаться, содержится в **посуточных списках** на весь расчетный период времени. Посуточные списки делятся на **списки для размещения** и **списки для отгрузки**. Посуточный список для размещения содержит перечень заказов, которые должны быть привезены с агрегата резки и размещены на складе в текущие сутки, причем каждый заказ представлен списком пачек. Посуточный список для отгрузки содержит перечень заказов, которые в течение суток должны быть отгружены либо со склада, либо с агрегата резки.

Еще раз подчеркнем, что момент поступления и отгрузки заказов в течение суток неизвестен, поэтому оперативное планирование заключается в составлении плана действий по размещению или отгрузке в режиме реального времени, то есть по мере поступления заказов. Таким образом, объектом оперативного планирования является текущий размещаемый/отгружаемый заказ, начальным состоянием задачи является

совокупное состояние агрегатов резки, склада, тупиков до выполнения операции размещения/отгрузки, **терминальным – состояние агрегатов резки, склада, тупиков после выполнения операции размещения/отгрузки.**

Стратегия управления поиском

Как известно, все стратегии управления поиском в пространстве состояний делятся на две категории: пробный поиск и безвозвратный поиск. Эвристический поиск [2] является классическим примером пробного поиска, но в то же самое время эвристический поиск, сфокусированный при помощи сильной эвристики, работает в безвозвратном режиме. Поэтому результаты, полученные от применения сильно сфокусированного поиска, в большой степени зависят от удачного или неудачного выбора эвристики. При удачном выборе эвристики безвозвратный поиск является быстрым эффективным алгоритмом,двигающимся к целевому состоянию самым коротким путем. При неудачном – может не достигнуть целевого состояния вообще. Применим **безвозвратный эвристический поиск** к имеющемуся пространству состояний и построим для него эффективную оценочную эвристическую функцию.

Пусть наша задача находится в каком-то текущем состоянии и у нас имеется конечное множество допустимых операций (ходов), применимых к данному состоянию. Одни ходы будут более эффективны с точки зрения достижения целевого состояния, другие – менее. (Аналогией может служить текущая позиция на шахматной

доске и множество ходов, возможных в данной позиции согласно правилам игры.) Всей имеющейся у нас информации из предметной области задачи мы должны придать числовой вид, то есть оценивать эффективность каждого хода/операции одним числом. На каждом шаге из всего множества допустимых операций будем выбирать операцию минимальной стоимости и применять ее к текущему состоянию [2].

Понятно, что полученный таким образом план не обязан являться оптимальным планом, так как мы не совершали экспоненциального перебора всех возможных вариантов, но при удачном выборе оценочной эвристической функции мы получим **квазиоптимальный план**, позволяющий решить поставленные перед нами задачи оперативного планирования. Прежде чем переходить к выбору эвристической оценочной функции, сформулируем цели и задачи, которые должно преследовать оперативное управление складом.

Во-первых, это **минимизация времени, потраченного на выполнение операций размещения/отгрузки заказа.**

Во-вторых, это **систематизация хранения единиц продукции, объединенной в штабеля и ячейки согласно общим признакам.**

3. Выбор эвристической оценочной функции

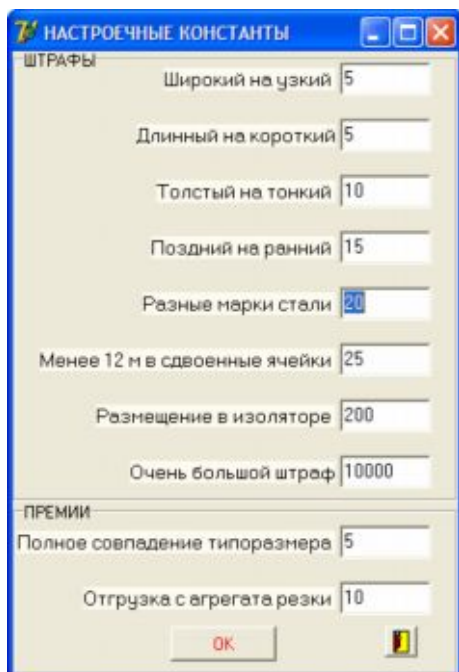
Сформулируем принцип, по которому каждой допустимой операции будет приписываться некая стоимость. Он основан на методе штрафных функций, изложенном в работе [3]. Сущность метода заключается в следующем.

Стоимость каждой допустимой операции будет складываться как сумма положительных штрафов и отрицательных премий, начисленных по всем параметрам операции. Примерный набор штрафов и премии приведен на **рисунке:**

Рассмотрим в качестве примера вычисление стоимости операции размещения пачки поверх штабеля, находящегося в *i*-й ячейке склада.

Пусть

- width1, len1, depth1, steel1, Date1 – ширина, длина, толщина, марка стали и дата отгрузки размещаемой пачки;
- width0, len0, depth0, steel0, Date0 – ширина, длина, толщина, марка стали и дата отгрузки верхней пачки *i*-го штабеля, если он не пустой;
- cell[i].double – признак «сдвоенности», принимающий значение «истина», если ячейка предназначена для размещения 12-метрового листа;
- DopW, DopL, DopD – допустимые отклоне-



Окно для начисления штрафов и премий

ния по ширине, длине, толщине;

- H_0 , h_1 , $MaxH$ – высота штабеля, высота размещаемой пачки и ограничение на высоту штабеля.

Тогда стоимость $Cost$ размещения пачки поверх штабеля равна:

- 0, если пачка укладывается в пустой штабель;
- $-P_1$ – премия, если штабель непустой и типоразмер его верхней пачки совпадает с размещаемым;
- если типоразмеры пачек не совпали, то стоимость размещения вычисляется по формуле

$$Cost = F_1 * \text{sgn}(width_1 - width_0 - DopW) + \\ + F_2 * \text{sgn}(len_1 - len_0 - DopL) + \\ + F_3 * \text{sgn}(depth_1 - depth_0 - DopD) + \\ + F_4 * \text{sgn}(Date_1 - Date_0) + \\ + F_5 * \chi("steel_1 \langle \rangle steel_0") + \\ + F_6 * \chi("(len_1 \leq 6000) \text{AND}(cell_0[i].double = true)") + \\ + F_7 * \chi("i = 0") \neq VeryBigF * \text{sgn}(H_0 + h_1 - MaxH),$$

где функция знака $\text{sgn}(width_1 - width_0 - DopW)$ равна 1, если ширина размещаемой пачки больше ширины верхней пачки + допуск на ширину, иначе 0; функция знака $\text{sgn}(len_1 - len_0 - DopL)$ равна 1, если длина размещаемой пачки больше длины верхней пачки штабеля + допуск на длину, иначе 0; функция знака $\text{sgn}(depth_1 - depth_0 - DopD)$ равна 1, если толщина размещаемой пачки больше толщины верхней пачки штабеля + допуск на толщину, иначе 0; функция знака $\text{sgn}(Date_1 - Date_0)$ равна 1, если дата отгрузки размещаемой пачки позднее даты отгрузки верхней пачки штабеля, иначе 0; характеристическая функция χ , служащая для арифметизации логического высказывания «марки стали не одинаковы», $\chi("steel_1 \langle \rangle steel_0")$ равна 1, если логическое высказывание принимает значение «истина», иначе 0; характеристическая функция χ , служащая для арифметизации логического высказывания «размещаем пачку длины не более 6 метров в сдвоенную ячейку», $\chi("(len_1 \leq 6000) \text{AND}(cell_0[i].double = true)")$ равна 1, если логическое высказывание принимает значение «истина», иначе 0; характеристическая функция χ , служащая для арифметизации логического высказывания «размещаем пачку в изоляторе» $\chi("i = 0")$ равна 1, если логическое высказывание принимает значение «истина», иначе равна 0; функция знака $\text{sgn}(H_0 + h_1 - MaxH)$

равна 1, если сумма высоты штабеля и высоты размещаемой пачки превысили ограничение на высоту штабеля, иначе 0; F_1 – штраф за размещение широкой пачки поверх узкой; F_2 – штраф за размещение длинной пачки поверх короткой; F_3 – штраф за размещение толстой пачки поверх тонкой; F_4 – штраф за размещение пачки с более поздней датой отгрузки поверх пачки с более ранней датой отгрузки; F_5 – штраф за несовпадение марок стали; F_6 – штраф за размещение пачки длиной не более 6 метров в ячейку, предназначенную для 12-метрового листа; F_7 – штраф за размещение пачки в изоляторе; $VeryBigF$ – очень большой штраф.

Аналогично происходит вычисление стоимости остальных допустимых операций.

Сделаем очень важное замечание о величинах штрафов и премий. **Числовые значения штрафов и премий** не являются наперед заданными величинами, а играют роль **настроечных констант**, подбираемых во время прогона программы на реальных данных. Меняя значения настроечных констант, мы тем самым меняем систему приоритетов и настраиваем программу под желания пользователя получать решения определенного вида. Поясним сказанное на примерах.

Если штраф за несовпадение марок стали будет больше штрафов за длину, ширину и толщину, то продукция одинаковых марок стали будет группироваться в общие ячейки.

Если штрафы за длину, ширину и толщину будут больше штрафа за несовпадение марок стали, то продукция разных марок будет перемешана, но штабеля будут формироваться в виде ровных пирамидок, сужающихся кверху.

Если штраф за размещение продукции с более поздней датой отгрузки поверх продукции с более ранней датой будет больше всех остальных штрафов, то при размещении будет совершаться большое число переукладываний из ячейки в ячейку, зато отгрузка будет происходить быстро, и так далее.

В задачах многокритериальной оптимизации невозможно четко определить, где находится настоящий оптимум, поэтому следует руководствоваться принципом «брать от многих зол как можно меньше» и желаниями пользователя организовать хранение продукции согласно выбранным им критериям.

Подведем некоторые итоги. Мы представили склад в виде модели «пространство состояний» и определили на этом пространстве оценочную функцию, вобравшую в себя все разумные эвристики, как-то: «клади сходное на сходное», «узкое на широкое», «тонкое на толстое», «короткое

на длинное», «раннее на позднее». Перечислим те положительные моменты, которые мы получим от выбора такой модели.

- Всей эвристической информации из предметной области задачи придан единообразный числовой вид.
- Отказ от жестких ограничений типа «нельзя размещать в одном штабеле разные марки стали» позволяет генерировать приемлемые решения с небольшим числом нарушений, вместо констатации факта, что идеального решения не существует.
- Отказ от фиксации ячеек под определенные марки стали позволяет для склада небольшой площади группировать продукцию одной марки в общих ячейках, динамически меняя количество таких ячеек и их расположение сообразно быстроменяющейся ситуации.
- Гибкая система штрафов и премий позволяет настраивать программу согласно критериям, выбранным пользователем.

4. Алгоритм отгрузки заказа

Шаг 1. Запоминаем, какое количество пачек мы должны отгрузить, и типоразмер отдельной пачки. Если такой типоразмер есть на агрегате резки, то отгружаем с агрегата резки до тех пор, пока не весь заказ отгружен и на агрегате

резки есть данный типоразмер.

Если весь заказ отгружен, то останов. Иначе переход на шаг 2.

Шаг 2. Ищем непустой штабель, у которого типоразмер верхней пачки совпадает с искомым типоразмером. Если такой штабель найден, то отгружаем до тех пор, пока не весь заказ отгружен и в штабеле есть данный типоразмер. Если весь заказ отгружен, то останов. Иначе переход на шаг 3.

Шаг 3. Ищем непустой штабель, содержащий пачку с искомым типоразмером. Если такой штабель найден, то производим следующие действия:

- 1) помечаем штабель как запрещенный;
- 2) снимаем пачку с верхушки штабеля;
- 3) размещаем пачку процедурой *FindOptTop*;
- 4) помечаем пачку как размещенную;
- 5) повторяем шаги 2–4 до тех пор, пока наверху не окажется пачка с искомым типоразмером;
- 6) отгружаем из этого штабеля до тех пор, пока не весь заказ отгружен и в штабеле есть данный типоразмер. Если весь заказ отгружен, то останов. Иначе переход на шаг 3.

Если такой штабель не найден, то переход на шаг 4.

Шаг 4. Ищем типоразмер в изоляторе и отгружаем. Останов.

Библиографический список

1. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. М.: Мир, 1982.
2. Нильсон Н. Принципы искусственного интеллекта. М.: Радио и связь, 1985.
3. Алгоритм оперативного планирования посадки металла в печи листопрокатного стана / Каплан Д.С., Девятов Д.Х., Белявский А.Б., Файнштейн С.И., Торчинский В.Е. //Сталь. 2007. № 2. С. 130–133.

ABSTRACTS

THE DEVELOPMENT OF MINERAL DEPOSITS AND INDUSTRIAL UNITS

UDC 621.721: 778.38: 620.10

Rakhimov Z.R., Barulin A.I. The research of test stand hardness influence on the accuracy of slope modeling.

The influence of the constructed stand hardness on the accuracy of mine working modeling is considered. It is shown that frame stand shifts can have a great effect on the accuracy and the exactness of studied processes in model slope deforming. The way of necessary accuracy substantiation is proposed on the basis of maximum shift calculations of the loaded model stand by the finite element method.

Fig. 4. Table 3. Bibliogr. 3 names.

UDC 622.271.45:502.174

Gavrishev S.E., Pytalev I.A. Advanced trends in the use of dumps and mined-out areas.

The abstract concerns the methods of efficiency increasing at mining enterprises due to the extension of the georesources application field. In particular, we have worked out the ways of using overburden dumps and mined-out areas for the industrial waste disposal, and the preparation of this land for civil and industrial construction. The foreign experience of technogenic georesources exploitation is considered.

Fig. 6. Bibliogr. 6 names.

UDC 622.235

Ugolnikov B.K., Simonov P.S. The definition of conversion factors by calculating of equivalent crushing charges.

The design procedures of the correction factor (KBB) for the definition of the specific explosive material charge are presented. The given technologies consider only power characteristics of the explosive. The additional usage of the correction factor (KM) considering the mechanism of transferring energy to rock is suggested. The value of the factor is defined by the explosive denotation properties and elastic properties of rock.

Fig. 1. Table 4. Bibliogr. 7 names.

UDC 622.833

Krinitin R.V. Monitoring of ore and rock mass stressed states in scrubbing blocks of "Magnezitovaya" mine.

The variant of geomechanic monitoring of the deposit development is studied by the example of "Magnezitovaya" mine (town Satka). The stressed-deformed state of rock mass was defined by slot discharge methods and electrometry. The observation stations were installed to control the rock mass stability. The results of rock mass deformation were obtained. The conducted researches allowed controlling the situation in time and making recommendations about the efficient and safety deposit development.

Fig. 4. Table 2. Bibliogr. 14 names.

FERROUS, NON-FERROUS AND LESS-COMMON METALLURGY

UDC 621.74.01:669.13

Bryalin M.F. Kolokoltsev V.M., Goltsev A.S. The improvement of heat and wear-resisting Cr-Mn iron casting properties.

A new type of iron for agglomeration equipment details is developed.

Fig. 6. Table 3. Bibliogr. 3 names.

UDC 669.18.046.518:621.746.27M

Piksaev V.A., Yachikov I.M. The experiment of Using Power Criterion of Cracking in Designing of Continuous Casting Machine (C.C.M.).

A new method of designing the shape of the technological channel at continuous casting machines with

using the power cracking criterion in a billet under its strengthening is represented. By computer modeling the shape rates providing the even distribution of potential energy density in bending within the strengthening section are calculated. The obtained results were used in the reconstruction of Continuous Casting Machine #4 at JSC "Magnitogorsk Iron and Steel Works". The template analysis of tube steel billets proved the increased quality and the efficiency of the developed technique.

Fig. 5. Table 1. Bibliogr. 14 names.

UDC 621.365.2:669.187

Parsunkin B.N., Andreyev S.M., Usachev M.V., Nalivkin A.K., Mikhailchenko E.S. The optimization control of thermal and power conditions during technological periods in electric arc melting.

The issues of the optimization control of thermal and power conditions during technological periods in electric arc melting are considered. An indirect continuous method of melted steel temperature measurement adapted to the electric arc furnaces is suggested. The specific technique is given to control the optimization process of the electric arc steelmaking.

Fig. 4. Bibliogr. 7 names.

UDC 669.054.83

Sibagatullin S.K., Majorova T.V., Polinov A.A. The influence of changes in gas condition parameters on its importance in a blast furnace.

The basic parameter changes in the domain shop during different periods of work at blast furnaces are presented. The changes of gas condition parameters in a blast furnace are estimated by the replacement of one kind of raw material for another.

Table 3. Bibliogr. 3 names.

UDC 669.14.018.298.8:669-155.3

Veliky A.B., Kazakov A.A., Phylippova V.P., Alekseev A.G. The electromagnetic stirring effect on the structure and chemical homogeneity of the continuous billet grade.

Electromagnetic stirring (EMS) of the liquid metal in the lower part of the continuous casting mold contributes to the zone size increase of polyhedron crystals and to the chemical homogeneity decrease of a casting billet. The strongest effect on the zone size is exerted by the power of the current feeding the device for EMS. The rational value of the current frequency for this type of a device is revealed.

Fig. 2. Bibliogr. 2 names.

UDC 621.771

Sychkov A.B. Non-metallic inclusions in high-carboned steel.

The conditions of non-metallic inclusion reduction in steel were studied: the application of magnesium casting ladles, metal treatment with white slag, steel modification with special alloying elements (Ca+RZM). The assessment method of critical concentration of non-metallic inclusions in steel was developed.

Fig. 6. Table 4. Bibliogr. 15 names.

UDC 669.018.9

Chumanov V.I., Pyatygin D.A., Chumanov I.V. Steel strengthening by hard-melting dispersion phase.

The process of obtaining high hardening composites with constant introduction of hard-melting particles by casting of metal alloy is studied. The quality of composites obtained by the introduction of high melting particles in molten metal with amount of 1 ton is investigated. The increase in hardening properties of tested material strengthened by synthetic titanium carbides (TiC) is shown.

Fig. 4. Table 2. Bibliogr. 4 names.

UDC 621.74.94:669.131.7.061.062

Chaykin V.A., Boldirev D.A., Chaykina N.V. The investigation of features of the ductile iron graphitizing modification with mixed modifiers in the conditions of JSC "AVTOVAZ".

The article describes the experimental proof of the disperse mixed modifier efficiency in the conditions of JSC "AVTOVAZ". The possible mechanism of material effect on melts is shown. Technological characteristics of modification are optimized. The expected economic efficiency in case of application is calculated.

Fig. 4. Table 1. Bibliogr. 8 names.

METAL-FORMING PROCESS

UDC 621.735.043.016.3

Zhelezkov O.S., Mikhailova U.V. Features of plate springs punching.

The process of plate washer sheet pressing is considered. The constructions of combined punches with consecutive or integrated working units are given. The comparative analysis of using the punches is made.

Fig. 3. Bibliogr. 4 names.

UDC 519.25: 658.5: 621.771

Devytchenko L.D. The multivariate correspondence analysis of organizational attributes and production results in rolling manufacture.

The multivariate correspondence analysis of categorized quality parameters of rolling output in conditions of relief crew work is made. The groups of closely connected categories (separate brigades, shifts, levels of output, spoilage and subquality products) are revealed. The given method is proved to be useful for the classification of attribute categories measured in nominal and ordinal scales.

Fig. 6. Table 9. Bibliogr. 14 names.

UDC 658.562:621.771

Rumyantsev M.I., Shubin I.G., Zavalischin A.N., Kornilov V.L., Budanov A.P., Tsepkin A.S., Panteleeva N.A., Oplachko T.V., Pitrenina M.A. The estimation of the thin hot-rolled strip quality for replacing cold-rolled sheet steel of general purposes.

The replacement of cold-rolled for hot-rolled sheets is considered.

The data comparison of the sheet roll quality rate for common use is given. The economic benefit of the suggested substitution of cold – rolled to hot – rolled sheets is shown.

Fig. 5. Table 2. Bibliogr. 7 names.

UDC 621.771.074: 621.771.25.002.237

Tulupov O.N., Ruchinskaya N.A., Moller A.B., Limarev A.S., Lutsenko A.N. The quality control or rolled section by using rational warning actions in mill setting.

In the article one we can find the results of the researches in the field of quality management of long products while tooling the mill. There is the method of preventive operations applying. Resigning characteristics were developed witch were based on matrix modeling. With the help of matrix modeling of long products mills we get new tools – tables of preventive actions for present long products mills.

Fig. 3. Table 4. Bibliogr. 4 names.

MODELLING OF METALLURGICAL PROCESSES

UDC 536.082

Dubskiy G.A., Vdovin K.N., Nefedev A.A., Dubskaya T.Ya. The experimental unit for the research of thermophysical solid properties by the method of periodical heat waves.

The experiment unit is worked out for measurement of metal and non-metal thermal diffiisivity, heat absorption and heat conduction. The detailed unit block scheme is given. The experimental results of $C_p(T)$, Hf, Mo, W dependence is represented.

Fig. 6. Bibliogr. 4 names.

NANOTECHNOLOGIES AND NANOMATERIALS

UDC 621.7.011:621.789

Chukin M.V., Valiev R.Z., Raab G.I., Koptseva N.V., Ephimova U. U. The research of the nanostructured steels 20 and 45 evolution at critical degrees of plastic deformation.

The article contains the research results of the microstructure and microhardness of steels 20 and 45 in the initial condition and at the critical degrees of deformation after different kinds of treatment. The samples of nanostructured steels were investigated in lengthwise and transverse directions heading from the surface towards the central part.

Fig. 7.

RELIABILITY AND DURABILITY OF METAL EQUIPMENT

UDC [621.771.06-11:621.822]-192

Dudorov E.A., Zhirkin U.V. Modernization of bearing assembly for the extension of its resource.

The main task of an engineer while developing the bearing unit, is to provide its reliable service during a long period of time. This research covers the problems: of the transporting of lubricant by «oil-air» system to the tracks of roller bearings and sea lings by means of built-in oil-air flow divider.

Fig. 3.

UDC 621.771

Kadoshnikov V.I., Kulikov S. V., Shestopalov E. V., Kulikova E.V. Reliability modeling of rolling manufacture units as complex technical systems.

Some approaches for finding the optimal variant of the technical system construction in accordance with the reliability criteria are considered. In appliance to manufacture means, especially in the field of complex industrial systems, the high risk of insufficient reliability is marked. It may result in losses connected with liquidation of production means and cause unreliable product outputs served by the given means.

Bibliogr. 6 names.

STANDARTIZATION AND METAL QUALITY MANAGEMENT

UDC 621.771

Chukin V.V., Artyukhin V.I., Rubin G.Sh., Vakhitova F.T., Guseva E.N. Fasteners Upgrading Project.

We have determined the main ways of solving the problem of fasteners upgrading. They are the following:

1. putting advanced items into production;
2. upgrading of rolled metal;
3. development of resource-saving technology;
4. raising endurance of equipment;
5. equipment renewal.

Bibliogr. 5 names.

UDC 338.24:334.758.4

Alenina M.N., Kuznetsova E.N., Shemshurova N.G. The system development of joint companies quality management by means of benchmarking researches.

Benchmarking is offered to be used as a method of the system development of quality management.

Fig.1, Bibliogr. 3 names

ECONOMICS, MANAGEMENT AND PRODUCTION MARKET

UDC 658.7:669.06.048.88

Fainstein S.I., Tutarova V.D., Kalitaev A.N., Bukreev A.U., Kolesnikov E.F. Efficient planning of ready production movement at warehouses of metallurgical plants.

Optimization of planning requires the information and intensive calculations. Thus, effective planning is impossible without a mathematical apparatus and computer facilities. The irretrievable heuristic search to conditions space is applied and its efficient estimate function is represented.

Fig. 1. Bibliogr. 3 names.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алексеев Александр Геннадьевич – инженер-технолог 2-й категории лаборатории непрерывной разливки стали ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

Аленина Марина Николаевна – инженер по системе менеджмента качества ОАО «ММК-МЕТИЗ», аспирантка кафедры обработки металлов давлением ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Андреев Сергей Михайлович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой промышленной кибернетики и систем управления ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет им. Г.И. Носова».

Артюхин Владимир Иванович – кандидат технических наук, ведущий инженер технического отдела НПО «БелМаг», г. Магнитогорск.

Барулин Александр Иванович – кандидат технических наук, ведущий инженер АО «Соколовско-Сарбайское горно-обогатительное производственное объединение» (АО «ССГПО»), Республика Казахстан.

Болдырев Денис Алексеевич – кандидат технических наук, инженер-исследователь 2-й категории исследовательской лаборатории литейных процессов ОАО «АВТОВАЗ», г. Тольятти.

Брялин Марат Файзулович – Генеральный директор ОАО «Баймакский литейно-механический завод».

Буданов Анатолий Петрович – ведущий инженер лаборатории холодного проката ЦЛК ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

Букреев Алексей Юрьевич – студент группы АВ-04-2 ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Валиев Руслан Зуфарович – доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент АН РБ, научный руководитель Института Физики Перспективных Материалов, заведующий кафедрой нанотехнологий ГОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет».

Вахитова Фарида Талгатовна – аспирант кафедры металлургических и машиностроительных технологий ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Вдовин Константин Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры электрометаллургии и литейного производства ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Великий Андрей Борисович – начальник ЭСПЦ ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

Гавришев Сергей Евгеньевич – доктор технических наук, профессор, декан факультета горных технологий и транспорта, заведующий кафедрой открытой разработки месторождений полезных ископаемых ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Гольцов Алексей Сергеевич – аспирант кафедры электрометаллургии и литейного производства ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Гусева Елена Николаевна – начальник крепежной лаборатории ЦЗЛ ОАО «ММК-МЕТИЗ», г. Магнитогорск.

Десятченко Леонид Дмитриевич – кандидат технических наук, доцент кафедры математики, эконометрики и статистики ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Дубская Татьяна Яковлевна – старший преподаватель кафедры физики ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Дубский Геннадий Алексеевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Дудоров Евгений Александрович – главный конструктор ЗАО «Металлпромсервис» (ЗАО «МПС»), аспирант заочной формы обучения ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Ефимова Юлия Юрьевна – инженер кафедры материаловедения и термической обработки металлов ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Железков Олег Сергеевич – доктор технических наук, профессор кафедры теоретической механики и сопротивления материалов ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Жиркин Юрий Васильевич – кандидат технических наук, профессор кафедры механического оборудования металлургических заводов ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Завалицин Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры материаловедения и термической обработки металлов ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Кадошников Владимир Иванович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной механики, графики, проектирования технических и технологических комплексов ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Казаков Александр Сергеевич – инженер-технолог лаборатории непрерывной разливки стали ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», аспирант заочной формы обучения кафедры металлургии черных металлов ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Колесников Евгений Фанисович – студент группы АВ-04-2 ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Колокольцев Валерий Михайлович – доктор технических наук, профессор, ректор ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Копцева Наталья Васильевна – кандидат технических наук, и.о. профессора кафедры материаловедения и термической обработки металлов ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Корнилов Владимир Леонидович – кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника ЦЛК ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

Криницын Роман Владимирович – научный сотрудник Института горного дела Уральского отделения Российской Академии Наук, лаборатория геодинамики и горного давления.

Кузнецова Евгения Николаевна – выпускница ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» по специальности «Стандартизация и сертификация».

Куликов Сергей Владимирович – старший преподаватель кафедры экономики, коммерции и налогообложения ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Куликова Екатерина Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики, графики, проектирования технических и технологических комплексов ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Лимарев Александр Сергеевич – аспирант кафедры обработки металлов давлением ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Луценко Андрей Николаевич – кандидат технических наук, главный инженер ОАО «Северсталь», г. Череповец.

Майорова Татьяна Владимировна – старший преподаватель кафедры экономики, коммерции и налогообложения ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Михайлова Ульяна Владимировна – ассистент кафедры информатики и информационных технологий ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Михальченко Елена Сергеевна – ассистент кафедры промышленной кибернетики и систем управления ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет им. Г.И. Носова».

Моллер Александр Борисович – кандидат технических наук, доцент кафедры обработки металлов давлением ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Наливкин Антон Константинович – аспирант кафедры промышленной кибернетики и систем управления ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет им. Г.И. Носова».

Нефедьев Александр Алексеевич – аспирант кафедры электрометаллургии и литейного производства ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Пантелеева Наталья Анатольевна – сменный инженер лаборатории физико-механических и металлографических испытаний листового проката ЦЛК ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», студентка заочного факультета ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» по специальности «Обработка металлов давлением».

Парсункин Борис Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры промышленной кибернетики и систем управления ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет им. Г.И. Носова».

Пиксаев Валерий Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры механического оборудования металлургических заводов ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Полинов Андрей Александрович – помощник начальника доменного цеха по технологии ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

Пыталева Иван Алексеевич – аспирант кафедры открытой разработки месторождений полезных ископаемых ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Пятыгин Дмитрий Александрович – кандидат технических наук, заведующий учебными лабораториями Филиала ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет», г. Златоуст.

Рааб Георгий Иосифович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией технологий ИПД Института Физики Перспективных Материалов ГОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет».

Рахимов Zufar Рафисович – старший преподаватель Республиканского государственного казенного предприятия «Рудненский индустриальный институт» (РГКП «РИИ»), Республика Казахстан.

Рубин Геннадий Шмульевич – кандидат технических наук, доцент кафедры металлургических и машиностроительных технологий ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Румянцев Михаил Игоревич – кандидат технических наук, профессор кафедры обработки металлов давлением ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Ручинская Наталья Александровна – ассистент кафедры обработки металлов давлением ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Сибягатуллин Салават Камилевич – доктор технических наук, профессор кафедры металлургии черных металлов ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Симонов Павел Семенович – кандидат технических наук, и.о. доцента кафедры открытой разработки месторождений полезных ископаемых ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Сычков Александр Борисович – доктор технических наук, заместитель начальника технического отдела совместного закрытого акционерного общества «Молдавский металлургический завод», г. Рыбинск, Молдавия.

Тулупов Олег Николаевич – доктор технических наук, профессор, директор международного союза производителей металлургического оборудования «Металлургмаш», директор департамента международной кафедры-сети ЮНЕСКО/МЦОС.

Тугарова Власта Диляуровна – кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники и прикладной математики ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Угольников Владимир Константинович – кандидат технических наук, профессор кафедры открытой разработки месторождений полезных ископаемых ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», специалист в области взрывного дела.

Усачев Максим Валерьевич – аспирант кафедры промышленной кибернетики и систем управления ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет им. Г.И. Носова».

Файнштейн Светлана Ильдаровна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры вычислительной техники и прикладной математики ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Филиппова Валентина Петровна – инженер-технолог 1-й категории лаборатории непрерывной разливки стали ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

Цепкин Алексей Сергеевич – старший мастер ЛПЦ № 5 ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

Чайкин Владимир Андреевич – кандидат технических наук, профессор кафедры машиностроения и приборостроения, заместитель директора по научной работе Филиала Московского государственного открытого университета, г. Сафоново.

Чайкина Наталья Владимировна – выпускница Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана по специальности «Литейное производство».

Чукин Виталий Васильевич – доцент кафедры материаловедения и термической обработки металлов ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Чукин Михаил Витальевич – доктор технических наук, профессор кафедры машиностроительных и металлургических технологий ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Чуманов Валерий Иванович – доктор технических наук, профессор, директор Филиала ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет», г. Златоуст.

Чуманов Илья Валерьевич – доктор технических наук, профессор, проректор по учебной работе ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (ГОУ ВПО «ЮУрГУ»).

Шемшурова Нина Георгиевна – кандидат технических наук, профессор кафедры обработки металлов давлением ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Шестопалов Евгений Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики, графики, проектирования технических и технологических комплексов ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Шубин Игорь Геннадьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры металлургических и машиностроительных технологий ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Ячиков Игорь Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники и прикладной математики ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

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) сведения об авторах: полное название учреждения, фамилия, имя, отчество, ученая степень, направление исследований, звание и должность, контактный телефон и E-mail;
- 3) реферат на английском и русском языках по образцу (~200 знаков):

УДК 622.27

Иванов И.И., Петров П.П. Совершенствование систем разработки золоторудных месторождений.

Предложен способ очистной выемки тонких жил....

Ил. 2. Табл. 2. Библиогр. 7 назв.

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.

4) рецензия.

II. Текст статьи, сведения об авторах и реферат представляются на электронном носителе в виде файла, созданного средствами Microsoft Word, и распечаткой на стандартных листах бумаги формата А4.

При наборе статьи в Microsoft Word рекомендуются следующие установки:

1) **шрифт** – **Times New Roman**, размер – 14 пт, межстрочный интервал – одинарный, перенос слов – автоматический;

2) при вставке **формул** использовать встроенный редактор формул **Microsoft Equation** со стандартными установками;

3) **рисунки и фотографии**, вставленные в документ, должны быть четко выполнены, допускать перемещение в тексте и возможность изменения размеров (толщины линий и размеры обозначений должны обеспечивать четкость при уменьшении рисунка до рациональных размеров). Рисунки предоставлять в виде распечатки на стандартных листах бумаги формата А4 и отдельным файлом в формате *.TIF, *.JPG, с разрешением **300 dpi**, B&W – для черно-белых иллюстраций, Grayscale – для полутонов, максимальный размер рисунка с подписью – 150×235 мм. **Схемы, графики** выполняются во встроенной программе MS Word или MS Excel, с приложением файла. В тексте статьи должны быть подрисовочные надписи в местах размещения рисунков. Например:

Рис. 4. Расчётная зависимость $\gamma(t)=I_{nd}/I_{n0}$ 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) 29-85-12, 29-85-17.

Факс (3519) 22-41-46.

E-mail: rio@mail.ru; mgту@magtu.ru; nis@magtu.ru (с указанием темы сообщения «Вестник МГТУ»).