

ВЕСТНИК

Магнитогорского государственного
технического университета им. Г. И. Носова

№ 4 (36) декабрь 2011 г.

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

Издается с марта 2003 года

Редакционный совет:

Председатель редсовета:

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

Члены редсовета:

А.В. Дуб – ген. директор ОАО НПО «ЦНИИТМАШ»,
д-р техн. наук;
Д.Р. Каплунов – член-кор. РАН, проф. ИПКОН РАН,
д-р техн. наук;
В.Ф. Рашинов – Президент ООО "Управляющая компания ММК", проф., д-р техн. наук;
В.М. Счастливцев – зав. лабораторией ИФМ УрО РАН;
академик РАН, д-р техн. наук;
А.Б. Сычков – зам. директора по технической политике
Восточно-Европейского металлургического дивизиона
ОАО «МЕЧЕЛ» (Румыния), д-р техн. наук;
Ken-ichi 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:

Л.И. Антропова – проф., д-р фил. наук;
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.Н. Павлов – канд. пед. наук;
М.Б. Пермяков – доц., канд. техн. наук;
А.М. Песин – проф., д-р техн. наук;
В.М. Салганик – проф., д-р техн. наук;
А.С. Сарваров – проф., д-р техн. наук.

Ответственные редакторы по научным направлениям экспертных советов ВАК РФ:

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

© ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2011

На журнал можно подписаться в отделениях связи либо приобрести непосредственно в редакции.
Подписной индекс издания 48603 в объединенном каталоге «Пресса России», том 1.

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

Адрес редакции:

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38
Тел.: (3519) 22-14-93
Факс (3519) 23-57-60
E-mail: vestnik@magtu.ru

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

Отпечатан на полиграфическом участке МГТУ.

Подписано к печати 20.12.2011.

Заказ 909. Тираж 500 экз. Цена свободная.



VESTNIK

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

№ 4 (36) December 2011

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

PUBLISHED SINCE MARCH, 2003

Editorial committee

Chairman of editorial committee:

V. M. Kolokoltsev – rector of 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 director in technical politics of Eastern European metallurgical division JSC “MECHEL” (Romania), D. Sc.

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

Maciej Pietrzyk – Professor Akademia Gorniczno-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:

L.I. Antropova – Prof., D.Sc.

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.N. Pavlov – Ph.D.

M.B. Permyakov – Assoc. Prof., Ph.D.

A.M. Pesin – Prof., D.Sc.

V. M. Salganik – Prof., D.Sc.

A.S. Sarvarov – Prof., D.Sc.

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

M. A. Polyakova – Assoc. Prof., Ph.D.

M. V. Shubina – Assoc. Prof., Ph.D.

© Federal state budgetary institution of higher professional education
“Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov”, 2011

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

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

Editorship address:

455000, city Magnitogorsk, Lenin Str. 38

Phone number: (3519) 22-14-93

Fax: (3519)23-57-60

Email: vestnik@magtu.ru

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

Signed for press 20.12.2011.

Order 909. Circulation – 500 items. Free price.



СОДЕРЖАНИЕ

Разработка полезных ископаемых.....	5	Стандартизация, сертификация и управление	54
<i>Калмыков В.Н., Мещеряков Э.Ю., Волков П.В.</i>		<i>Черкасов К.Е., Румянцев М.И., Черкасов М.Е., Якушев Е.В., Карагодин Ю.И., Бочков Д.Г.</i>	
Обоснование параметров геотехнологического модуля «Очистные работы» при освоении запасов в приконтурных зонах карьеров	5	Повышение результативности статистического приёмочного контроля по связи между параметрами за счет модернизации комплекса независимых переменных на примере толстолистового проката для ОАО «ГАЗПРОМ»	54
Металлургия черных, цветных и редких металлов.....	9	Надежность и долговечность металлургического	56
<i>Дружков В.Г., Прохоров И.Е.</i> Выбор режима выпуска чугуна и шлака из горна доменных печей в современных условиях	9	<i>Аниупов А.В., Чукин М.В., Аниупов А.В.(мл.), Аниупов В.П.</i> Научные и методологические основы прогнозирования надежности трибосопряжений на стадии их проектирования	56
Литейное производство	13	<i>Новиков В.И., Кадошников В.И., Куликова Е.В.</i> Исследование условий эксплуатации колонных ковочных прессов	62
<i>Вдовин К.Н., Зайцева А.А.</i> Влияние термической обработки на валковый чугун, модифицированный бором	13	Автоматизация и управление процессами.....	65
<i>Сушко Т.И., Леднев А.С., Пашина Т.В., Турищев В.В., Руднева И.Г.</i> Оптимизация технологического процесса получения отливки «Корпус» методом LBM	15	<i>Рябчиков М.Ю., Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Польшко П.Г., Логунова О.С., Рябчикова Е.С., Головкин Н.А.</i> Нечеткое экстремальное управление процессом измельчения руды для обеспечения максимальной производительности	65
Обработка металлов давлением.....	19	<i>Парсункин Б.Н., Сеничкин Б.К., Андреев С.М., Рябчиков М.Ю.</i> Повышение производительности доменной печи при оптимизации автоматического управления подачей природного газа и технического кислорода в дутье.....	69
<i>Платов С.И., Румянцев М.И., Дема Р.Р., Харченко М.В.</i> Эффективность процесса горячей прокатки с подачей смазочного материала между опорным и рабочим валками на непрерывном широкополосном стане горячей прокатки 2000 ОАО «ММК».....	19	<i>Агапитов Е.Б., Болкунова В.А., Шутков К.В.</i> Численное моделирование теплового состояния водоохлаждаемой доменной фурмы при налипании расплава шлака на ее поверхность.....	73
<i>Кинзин Д.И., Калугина О.Б.</i> Оценка влияния показателей формы очага деформации на уширение при сортовой прокатке	21	Энергетика металлургии, энергосбережение и	75
<i>Раскатов Е.Ю., Лехов О.С.</i> Выбор рациональной калибровки валков пилигримовых станов	23	<i>Никифоров Г.В., Журавлев Ю.П., Девятков Д.Х.</i> Развитие энергетической базы и электротехнических комплексов ОАО «ММК»	75
Технологии обработки материалов	27	<i>Корнилов Г.П., Храмшин Т.Р., Карандаева О.И., Губайдуллин А.Р., Галлямов Р.Р.</i> Способы повышения устойчивости частотно-регулируемых электроприводов при нарушениях электроснабжения... ..	79
<i>Платов С.И., Терских Д.С.</i> Технологические особенности обработки арматурной проволоки путем отпуска под натяжением	27	<i>Омельченко Е.Я.</i> Магнитодвижущие силы двухфазных обмоток асинхронных двигателей	84
<i>Мезин И.Ю., Чукин В.В.</i> Анализ вариантов формирования свойств исходной заготовки при производстве высокопрочной стальной арматуры для железобетонных шпал	30	<i>Агапитов Е.Б.</i> Энергосбережение при струйно-плазменной ковшовой обработке расплава стали.....	88
<i>Белокопытов В.И.</i> Прогнозирование анизотропии прочностных свойств изделий из алюминиевых гранул и разработка технологических процессов, приводящих к её снижению.....	35	Экономика, управление и организация производства..	91
<i>Боткин А.В., Валиев Р.З., Дубинина С.В., Рааб Г.И., Степин П.С.</i> Прогнозирование разрушения металла в процессе интенсивной пластической деформации цилиндрической заготовки равноканальным угловым прессованием.....	38	<i>Богатырев С.Ю.</i> Розничный малый бизнес: выживание через оценку	91
Материаловедение и термическая обработка металлов.....	43	<i>Бессонова Ю.А., Слукина С.А.</i> Совершенствование методической базы механизма формирования и функционирования интегрированных структур	96
<i>Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Трифоненков Л.П., Орелкина Т.А., Дроздова Т.Н., Баранов В.Н., Галиев Р.И., Ворошилов Д.С.</i> Исследование структуры и свойств деформированных полуфабрикатов из низколегированных сплавов системы Al –PЗМ, полученных с использованием метода совмещенного литья и прокатки-прессования... ..	43	<i>Решетникова Т.В., Тульский Ю.М.</i> Волатильность рынка ценных бумаг и ее влияние на эффективность IPO	100
<i>Гадалов В.Н., Афанасьев А.А., Романенко Д.Н., Болдырев Ю.В., Рагулина Л.Г., Шестакина С.В.</i> Абразивная износостойкость металлических материалов с цементитосодержащими структурами	45	<i>Королькова Л.И.</i> Расчет характеристик поточной формы организации ремонтного производства сельскохозяйственной техники	104
<i>Петроченко Е.В., Молочкова О.С.</i> Анализ взаимосвязи химического состава, условий охлаждения при затвердевании с особенностями строения сплавов, окисленной поверхности и свойствами комплексно-легированных белых чугунов. ..	50	Математика	108
		<i>Малеко Е.М., Чурсина Н.В.</i> О возмущении дискретного оператора оператором сдвига	108
		Рефераты.....	110
		Reports	113
		Сведения об авторах.....	116
		The information about the authors.....	118

CONTENT

Mining	5
<i>Kalmykov V. N., Mecsherykov E. Y., Volkov P. V.</i>	
Substantiation parameter the geotechnological module	
«Clearing works» at development of stocks in border	
zones of open-cast mines	5
Metallurgy of Ferrous, Non-ferrous and Rare Metals	9
<i>Druzhkov V.G., Prokhorov I.E.</i> Selection of the mode of	
hot metal and slag tapping from the hearth of blast	
furnaces within modern conditions	9
Foundry Engineering.....	13
<i>Vdovin K.N., Zaitseva A.A.</i> Influence of heat treatment	
on the boron microalloyed roll iron.....	13
<i>Sushko T.I., Lednev A.S., Pashneva T.V., Turishev V.V.,</i>	
<i>Rudneva I.G.</i> The optimization of the technological	
process of casting «Body» obtained by the LPM.....	15
Pressure Treatment of Metals	19
<i>Platov S.I., Rumjancev M.I., Dema R.R.,</i>	
<i>Kharchenko M.V.</i> Efficiency hot rolling process with	
use lubricant materials between backup and work rolls on	
continuous wide-strip hot rolling mill 2000.....	19
<i>Kinzin D.I., Kalugina O.B.</i> Assessment of deformation	
hearth form indicator's influence on widening in shape	
rolling	21
<i>Raskatov E.Y., Lehov O.S.</i> The choice of a rational	
grooving rolls pilger mills	23
Technologies of Material Processing	27
<i>Platov S. I., Terskih D.S.</i> Technological features of	
processing reinforcing wire through the vacation by	
tension	27
<i>Mezin I.Y., Chukin V.V.</i> The analysis of the variants of	
shaping qualities of starting stock material during	
manufacture high-strength steel reinforcement for	
reinforced-concrete ties	30
<i>Belokopytov V.I.</i> Anisotropy prediction of strength	
properties of articles made of aluminum pellets and	
working out of processes for its decrease.....	35
<i>Botkin A.V., Valiev R.Z., Dubinina S.V., Raab G.I.,</i>	
<i>Stepin P.S.</i> Prediction of metal failure in a cylinder billet	
during severe plastic deformation via equal-channel	
angular pressin.	38
Material Science and Thermal Metal Treatment.....	43
<i>Sidelnikov S.B., Doyenko N.N., Triphonenkov L.P.,</i>	
<i>Oryolkina T.A., Drozdova T.N., Baranov V.N., Galiev R.I.,</i>	
<i>Voroshilov D.S.</i> Research of the structure and properties	
of deformed semi-finished products of low-alloy alloys	
system Al-REM (rare earth metals) obtained by	
combined methods of casting and forming.	43
<i>Gadalov V.N., Afanasev A.A., Romanenko, D.N.,</i>	
<i>Boldyrev Y.V., Ragulina L.G., Shestavina S.V.</i> Abrasive	
wear of metallic materials with structures	
tsementitosoderzhaschimi.....	45
<i>Petrochenko E.V., Molochkova O.S.</i> The analysis of	
interrelation of a chemical compound, refrigerating	
conditions at hardening with features of a structure of the	
alloys, the oxidized surface and properties in a complex-	
alloyed white irons.....	50
Standardization, Certification and Quality Management ..	54
<i>Cherkasov K.E., Rymjantsev M.I., Cherkasov M.E.,</i>	
<i>Yakyshev E.V., Karagodin Y.I., Bochkov D.G.</i> Increase	
of productivity of the statistical acceptance control on	
communication between parameters at the expense of	
modernization of the complex of the independent	
variables on the example plate iron for JSC	
«GAZPROM»	54
Safety and Durability of Metallurgical Equipment	56
<i>Antsupov A.V., Chukin M.V., Antsupov A.V. (Jr),</i>	
<i>Antsupov V.P.</i> Scientific and methodological principles	
of reliability prediction friction units at the design stage	56
<i>Novikov V.I., Kadoshnikov V.I., Kulikova E.V.</i>	
Investigation of the operating conditions of column	
forging presses	62
Automation and control processes	65
<i>Ryabchikov M.Y., Parsunkin B.N., Andreev S.M.,</i>	
<i>Polyko P.G., Logunova O.S., Ryabchikova E.S.,</i>	
<i>Golovko N.A.</i> Maximal efficiency fuzzy logic based	
extremal control system	65
<i>Parsunkin B.N., Senichkin B.K., Andreev S.M.,</i>	
<i>Ryabchikov M.Y.</i> Blast furnace performance	
improvement by means of automatic control optimization	
of natural gas and technical oxygen submission in	
blasting	69
<i>Agapitov E.B., Bolkunova V.A., Chutov K.V.</i> Numerical	
simulation of the thermal state of the water-cooled lance	
for blast furnace slag melt adheres to its surface	73
Power Supply of Metallurgy, Energy Saving and Heat	
Power	75
<i>Nikiforov G.V., Zhuravlyov Ju.P., Devjatov D.X.</i>	
History formation and development power supply	
sources of open joint-stock company «MMK»	75
<i>Kornilov G.P., Hramshin T.R., Karandaeva O.I.,</i>	
<i>Gubajdullin A.R., Galljamov R.R.</i> Ways of the stability	
improvement of adjustable-frequency electric drives at	
losses of supply	79
<i>Omelchenko E.Y.</i> Magnetomotive forces of 2-phase	
windings asynchronous machines	84
<i>Agapitov E.B.</i> Power savings at plasma ladle-furnace to	
processing steels.....	88
Economics, management and production organization	91
<i>Bogatyrev S.Y.</i> Retail small business: a survival through	
appraisal	91
<i>Bessonova J.A., Slukina S.A.</i> Improvement of the	
methodical foundation of formation and operating	
mechanisms of integrated structures	96
<i>Reshetnikova T.V., Tulsy Y.M.</i> Securities market	
volatility and its influence on IPO efficiency.....	100
<i>Korolkova L.I.</i> Calculation of performance of flow forms	
organization of repair production of agricultural	
machinery	104
Mathematics	108
<i>Maleko E.M., Chursina N.V.</i> About perturbation of the	
discrete operator of the operator of shift	108
Рефераты.....	110
Reports	113
Сведения об авторах.....	116
The information about the authors.....	118

РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622. 272

Калмыков В.Н., Мещеряков Э.Ю., Волков П.В.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОДУЛЯ «ОЧИСТНЫЕ РАБОТЫ» ПРИ ОСВОЕНИИ ЗАПАСОВ В ПРИКОНТУРНЫХ ЗОНАХ КАРЬЕРОВ*

Перспективной тенденцией развития теории проектирования горнотехнических систем является разработка типовых технических решений в виде законченных циклов технологических процессов и операций по осуществлению того или иного этапа комплексного освоения участка месторождения - так называемых геотехнологических модулей, которые при соответствующей адаптации к конкретным условиям могут быть использованы при составлении проектов горных работ [1].

Геотехнологический модуль – это относительно самостоятельный и замкнутый элемент горнотехнической системы, который находится в непосредственной взаимосвязи с другими элементами (гео-

технологическими модулями) системы. При необходимости он может быть изъят из горнотехнической системы, модернизирован, а в отдельных случаях исключен, либо заменен новым модулем, выполняющим аналогичные функции [2].

В настоящей работе для обоснования выемки запасов в приконтурной зоне были приняты в качестве базовых традиционные макромодули «эксплуатационные горные работы», представленные в структуре горнотехнических систем по освоению месторождений открытым (рис. 1) и подземным (рис. 2) способами, а также были обозначены модули, которые связаны с ними и оказывают на них существенное влияние.

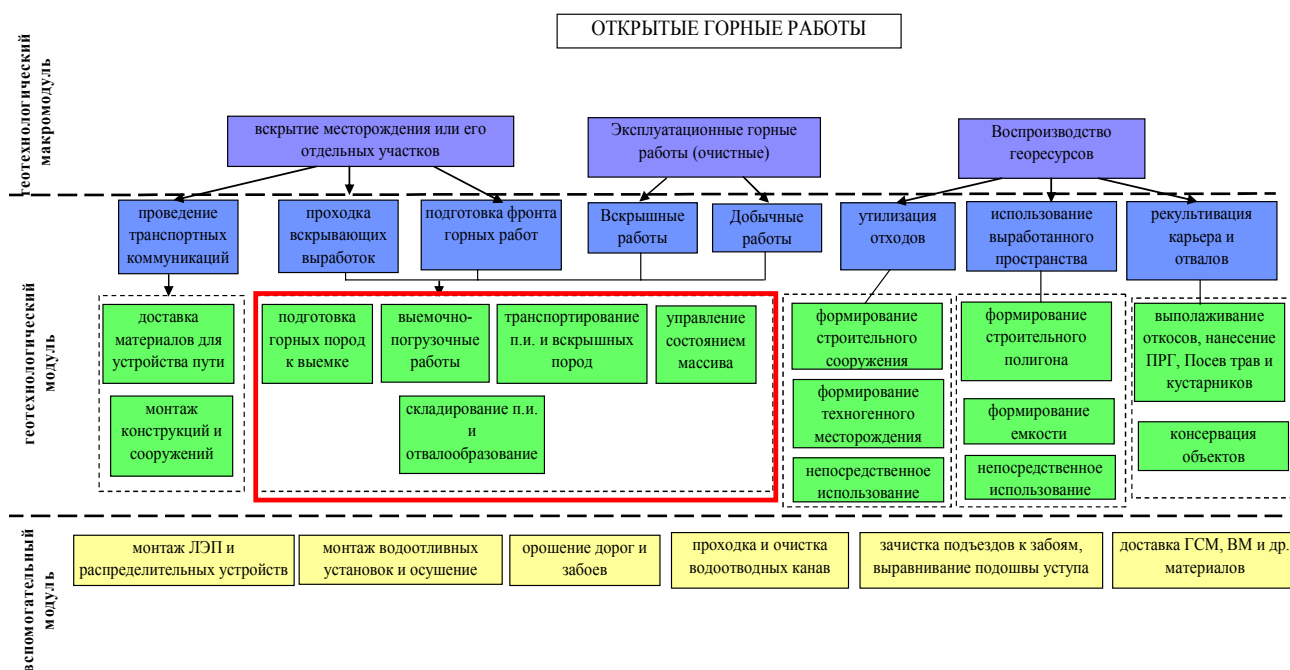


Рис. 1. Структура горнотехнической системы при освоении месторождения открытым способом

* Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», госконтракт № 02.740.11.0038

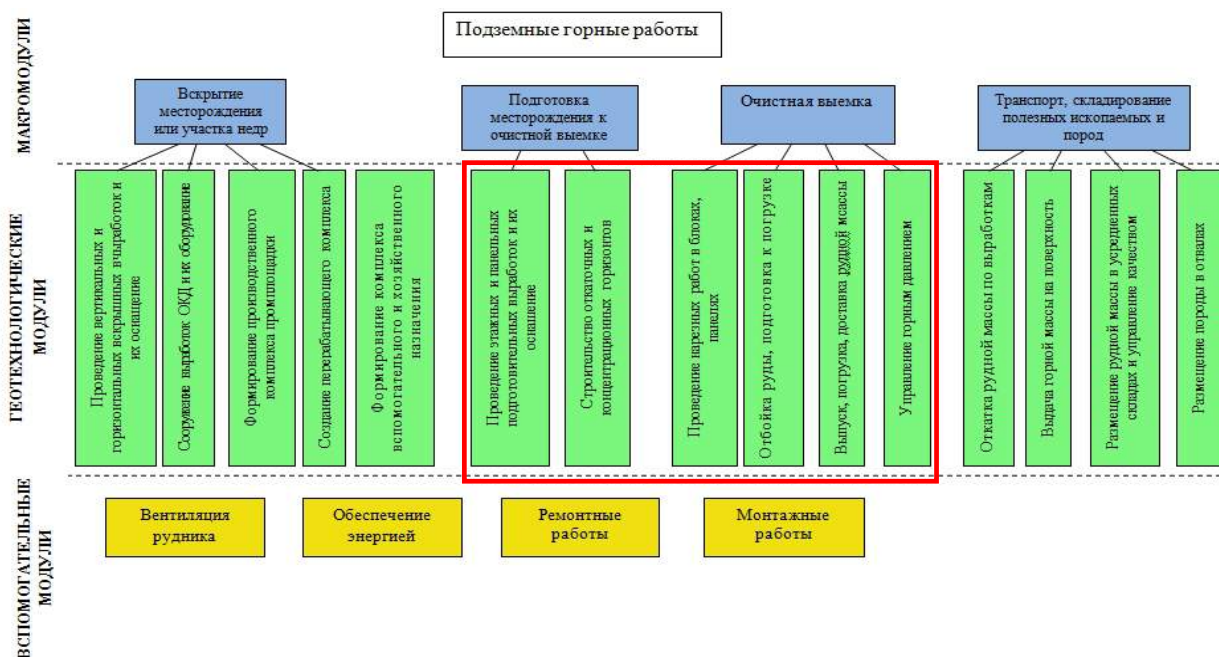


Рис. 2. Структура горнотехнической системы при освоении месторождения подземным способом

Согласно структурным схемам горнотехнических систем по освоению месторождений общепринятое понятие «система разработки» представляет собой совокупность геотехнологических модулей «подготовительных работ» и «очистной выемки», проводимых на участке недр, оформляемом в виде определенной горной конструкции.

В настоящее время детально проработаны геотехнологические модули эксплуатационных открытых и подземных горных работ, достаточно надежно определены их параметры. Поэтому для конкретных участков приконтурных запасов возможно провести выбор типовых геотехнологических модулей открытых и подземных горных работ, обозначить для каждого модуля входные и выходные параметры. Что же касается открыто-подземных работ, основанных на сочетании элементов макромоделей открытых и подземных работ, то использование имеющихся геотехнологических модулей

для приконтурных запасов, характеризующихся специфическими морфологическими, геомеханическими и технологическими особенностями, их простым сложением не представляется возможным. Такие геотехнологические модули могут быть сформированы путем комбинирования и модернизации существующих модулей, таких как «подготовка горных пород к выемке», «выемочно-погрузочные работы», «управление горным давлением», «транспортирование вскрышных пород и рудной массы» (рис. 3).

Для параметризации геотехнологического модуля «Очистные работы» выделяются характерные элементарные участки в приконтурной зоне в бортах и дне карьеров со сходными горно-геологическими условиями и геометрическими параметрами: пластообразные и выклинивающиеся (рис. 4, а), локальные зоны с выходом в карьер (рис. 4, в), локальные участки без выхода в карьер (рис. 4, б, г).

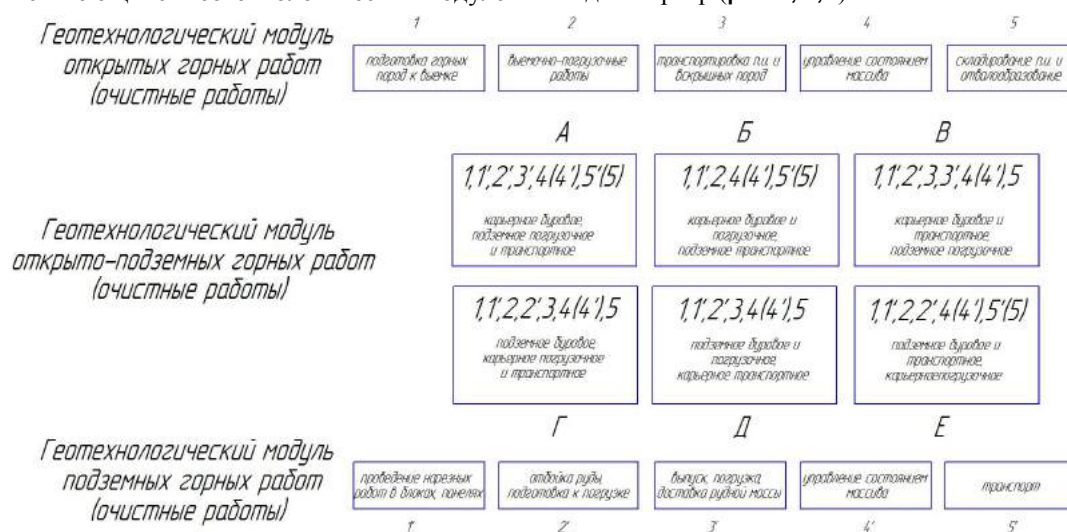


Рис. 3. Структура макромодуля и геотехнологических модулей

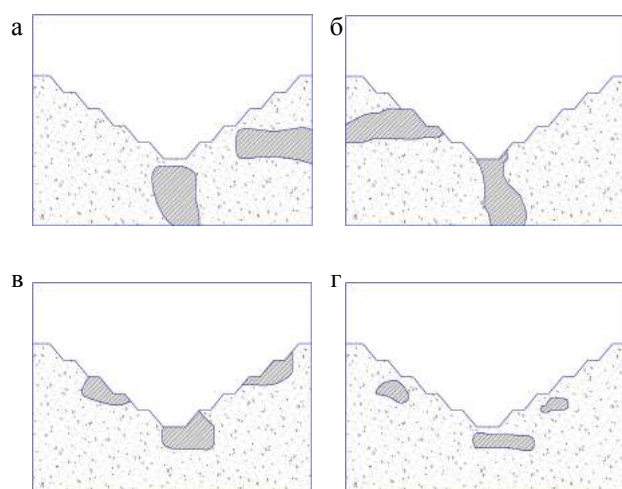


Рис. 4. Морфологические типы запасов (элементарные участки): а – пластообразные и выклинивающиеся участки залежи с выходом на контур борта; б – то же без выхода на контур борта; в – локальные участки залежи с выходом на контур борта; г – то же без выхода на контур борта

Для каждого типа запасов подбирается наиболее подходящий модуль открыто-подземных горных работ, который обеспечит полноту извлечения представленных участков. Так, для пластообразных, выклинивающихся и локальных участков залежи с выходом на контур борта возможными к применению являются следующие разработанные модули: А, Б, В, Г, Д, Е. Для запасов без выхода на контур карьера не представляется возможным задействовать варианты, сочетающие в себе модули открытых горных работ «подготовка горных пород к выемке» и «выемочно-погрузочные работы», поэтому варианты сочетания модулей Д, использующие карьерное пространство для транспортирования горной массы, являются наиболее предпочтительными [3].

Следующим этапом в обосновании параметров модулей «Очистные работы» или «Система разработки» является создание базы исходной информации, которая включает данные о горно-геологических и горнотехнических условиях выемки приконтурных запасов, современных технологических схемах, оборудовании, параметрах, используемых для расчета сравнительных показателей.

Для получения интегральных экономических показателей прорабатывается математическая модель, целью которой является минимизация затрат или максимизация прибыли [4]. В общем виде математическая модель расчета прибыли и себестоимости 1 т погашаемых запасов может быть представлена выражением:

$$P_i = C_{изв} - \sum_1^n C_{gi} \rightarrow \max; \quad (1)$$

$$C_i = \frac{\sum C_{gi}}{V_i} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где $C_{изв}$ – извлекаемая ценность 1 т погашенных запасов, руб./т; $\sum C_{gi}$ – удельные затраты на добычу и переработку, руб./т.

Извлекаемая ценность 1 т погашенных запасов

$$C_{изв} = C \cdot \alpha \cdot K_d \cdot \epsilon_{об},$$

где C – цена полезного компонента, руб./т; α – содержание или приведенное содержание полезного компонента в балансовых запасах, %; K_d – коэффициент добычи, дол. ед.; P – коэффициент потерь при добыче, дол. ед.; $\epsilon_{об}$ – коэффициент извлечения при обогащении, дол. ед.; $\sum C$ – суммарные удельные затраты на добычу и обогащение 1 т руды, руб./т.

Удельные затраты

$$\sum C = C_{подг} (C_{пнр}, C_{отб}) + C_{в-п} (C_{в,п,д}) + C_{тр}^o (C_{тр}^n) + C_{угд}^o (C_{угд}^n) + C_{отв} + C_{вен} + C_{под}, \quad (3)$$

где $C_{подг}$, $C_{пнр}$, $C_{отб}$, $C_{в-п}$, $C_{в,п,д}$, $C_{тр}^o$, $C_{тр}^n$, $C_{угд}^o$, $C_{угд}^n$, $C_{отв}$, $C_{вен}$, $C_{под}$ – соответственно удельные затраты на: подготовку горных пород к выемке, подготовительно-нарезные работы в блоке, отбойку, выемочно-погрузочные работы, выпуск, погрузку и доставку до рудоспуска, транспортирование при открытых горных работах, то же при подземных горных работах, управление горным давлением при открытых горных работах, то же при подземных горных работах, отвалообразование, вентиляцию блоков, подъем рудной массы, руб./т.

В связи с тем, что проектные контуры карьеров, как правило, были определены задолго до конца его отработки, а техника и технология горных работ со временем существенно усовершенствованы, представляется необходимым рассмотреть возможность выемки части запасов открытым способом.

По результатам проведенных исследований был разработан алгоритм оптимизации геотехнологических модулей «Очистные работы» при освоении запасов в приконтурной зоне карьеров, который обеспечивает выбор рационального варианта, а также позволяет наметить пути его совершенствования (рис. 5).

Таким образом, модульный подход применительно к отработке запасов в приконтурной зоне позволяет рационализировать горнотехническую систему и оптимизировать ее параметры, определить пути модернизации и, как результат, изменить конфигурацию и параметры всей горнотехнической системы в соответствии с целевыми функциями на основе совершенствования элементарного модуля «Очистные работы».

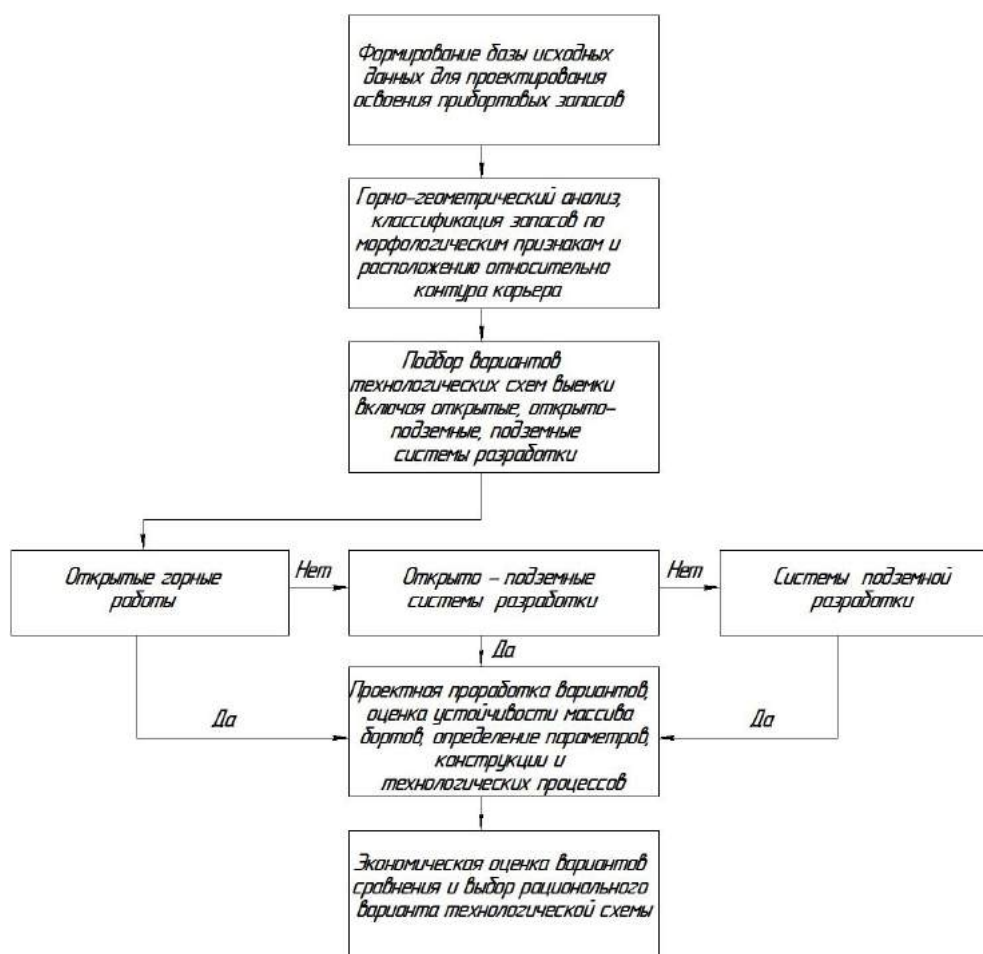


Рис. 5. Алгоритм оптимизации элементарного модуля «Очистные работы»

Список литературы

1. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Калмыков В.Н. Научно-методическое обоснование модульного принципа проектирования горнотехнических систем // Недропользование XXI век. 2009. №5. С. 74-78.
2. Рыльникова М.В., Калмыков В.Н. Перспективы модульного проектирования комбинированной геотехнологией // Комбинированная геотехнология: теория и практика реализации полного цикла комплексного освоения недр: материалы междунар. науч.- техн. конференции. Магнитогорск, 2011. С. 7-10.
3. Гибадуллин З.Р., Волков П.В. Методика оценки вариантов перемещения руды при отработке приконтурных запасов // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2009. №3. С. 11-13.
4. Калмыков В.Н., Григорьев В.В., Волков П.В. Изыскание вариантов систем разработки для выемки прибортовых запасов при комбинированной геотехнологии // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2010. №1. С. 17-22.

Bibliography

1. D.R. Kaplunov, M.V.Rylnikova, V.N.Kalmykov. Scientifically - methodical substantiation of a modular principle of designing of mining systems. - Nedropolzovanie the XXI-st century, №5, 2009 r, p. 74-78.
2. M.V.Rylnikova, V.N.Kalmykov, Prospects of modular designing by the combined geotechnology. – the combined geotechnology: the theory and practice of realization of a full cycle of complex development of bowels: materials of international scientifically - technical conference. Magnitogorsk, 2011. P. 7-10.
3. Gibadullin Z.R., Volkov P.V. Metodika's Wolves of an estimation of variants of moving of ore at working off in border stocks, MGTU Bulletin. – Magnitogorsk: GOU HPE «Magnitogorsk state university». 2009. №3. P. 11-13.
4. V.N.Kalmykov, Grigoriev V. V, Volkov P.V. Looking up wolves of variants of systems of working out for dredging border stocks at the combined geotechnology. MGTU bulletin. – Magnitogorsk: GOU HPE «Magnitogorsk state university», №1, 2010. P. 17-22.

МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

УДК 669.162.266.2/4

Дружков В.Г., Прохоров И.Е.

ВЫБОР РЕЖИМА ВЫПУСКА ЧУГУНА И ШЛАКА ИЗ ГОРНА ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

В 2014 году исполнится 50 лет, как впервые в мировой практике на доменной печи № 9 ММК внедрено устройство двух чугунных леток на отдельных литейных дворах. В настоящее время на доменных печах полезным объемом более 2700 м³ число чугунных леток достигает четырех. Снижение выхода шлака на тонну чугуна, увеличение высоты горна позволили на большинстве печей отказаться от выпуска шлака через шлаковые летки. Использование чугуновозных ковшей миксерного типа, внедрение стойкой заливной футеровки главных желобов, широкое распространение высококачественных леточных масс в значительной степени снизили трудоемкость горновых работ и способствовали изменению режима выпусков. Анализ отечественных изменений в последние 20 лет и их взаимосвязи с режимом отработки чугуна и шлака уделялось недостаточно внимания, не внесены соответствующие изменения в технологические инструкции.

Основным параметром режима опорожнения горна от жидких продуктов плавки является число выпусков чугуна в сутки – N . Выпуски чугуна равномерно распределяют во времени, поэтому продолжительность цикла «накопление-выпуск» должна быть постоянной и равной (в минутах):

$$T = 24 \times 60 / N = 1440 / N. \quad (1)$$

Выполнение графика выпусков при ровной работе доменной печи и постоянство условия продувки чугунных леток должно приводить к равномерному распределению по выпускам массы чугуна, которая определяется

$$Q = P/N = (P/1440) \times (1440/N) = q_n \times T, \quad (2)$$

где P – производительность печи, т/сут; q_n – минутная производительность (скорость накопления чугуна), т/мин.

Современный уровень теории и практики доменного производства позволяет определить количество выпусков, при котором не будет условий для нежелательного вытеснения столба кокса в горне, аналитически решив балансовое уравнение:

$$N^* = \frac{q_n (1 - q_n/q_0) \cdot g \cdot (1 - \varepsilon) \cdot (1 + III)}{(1440 \cdot (\sigma_{вк} - \sigma_0) \cdot F_r \cdot \varepsilon)}, \quad (3)$$

где III – относительный выход шлака, т/т; ε – средняя степень заполнения кокса жидкими продуктами плавки, м³/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; q_0 – скорость опорожнения горна; F_r – площадь горизонтального сечения горна, м².

Входящие в уравнение (3) величины активного

давления столба шихты на горизонте фурм (σ_0) и среднего сопротивления вытеснению ($\sigma_{вк}$) можно рассчитывать по следующим зависимостям [1]:

$$\sigma_0 = \sigma_{гф} \cdot e^{-H_k/A} + \rho_k \cdot g \cdot A \cdot \left(1 - e^{-H_k/A}\right) \cdot 10^{-3}; \quad (4)$$

$$\sigma_{вк} = \sigma_{гф} \cdot e^{+H_k/A} + \rho_k \cdot g \cdot A \cdot \left(e^{+H_k/A} - 1\right) \cdot 10^{-3}, \quad (5)$$

где ρ_k – насыпная плотность кокса в горне, кг/м³; H_k – высота столба кокса в горне, включая погруженную часть, м; $A = d_r/(4nf)$; d_r – диаметр горна, м; n – коэффициент бокового давления; f – коэффициент внутреннего трения; $\sigma_{гф}$ – среднее вертикальное давление столба шихты на горизонте фурм, кПа.

$$\sigma_{гф} = C \cdot \rho_{ш} \cdot g \cdot H_p \cdot (1 - v) \cdot 10^{-3}, \quad (6)$$

где $C = 0,17$ – доля активного давления на горизонте фурм от полного давления [2]; $\rho_{ш}$ – насыпная плотность шихты выше фурм, кг/м³; H_p – рабочая высота печи, м; $v = 0,5$ – степень уравнивания шихты подъемной силой газового потока; g – ускорение свободного падения, м/с².

Увеличение числа выпусков в прошлом, когда на печи была одна чугунная летка, сдерживалось рядом факторов: низким качеством огнеупорной леточной массы, уровнем механизации горновых работ и большими затратами времени на подготовку желобов к выпуску.

В настоящее время на доменных печах устанавливают две и более чугунных леток (до четырех на печах большого объема), тем самым устраняют ограничения на рост числа выпусков.

Увеличение числа выпусков – не единственный путь уменьшения количества чугуна в горне перед выпуском. Последнее можно осуществить также за счет уменьшения объемной (массовой) скорости опорожнения (q_0) и увеличения, тем самым, продолжительности выпуска (t_B).

В отдельных случаях целесообразно задавать режим опорожнения не по q_0 и T , а по t_B и T , или проверять приемлемость выбранного режима по q_0 , t_B и T .

Непрерывные, в течение нескольких суток, наблюдения за выпусками на доменных печах, проведенные авторами и выпускниками кафедры, а также обработка данных суточных рапортов о работе доменных печей по заводам страны в различные годы позволили определить величину характеристик режима опорожнения в различных условиях [1, 3].

Полученные данные об условиях и величине основных характеристик режима опорожнения горна доменных печей ММК сведены по группам (табл. 1).

Таблица 1

Изменение характеристик режима выпусков на доменных печах ММК по годам

Год	Массовая скорость, т/мин		Отношение q_n / q_0 или t_B / T	Число выпусков N	Продолжительность выпуска t_B , мин	Средняя масса выпуска, т
	накопления q_n	выпуска q_0				
	Доменные печи полезным объемом 1180 м³					
1955	1,28	6,8	0,188	7	38,8	264
1955	1,3	7,9	0,164	7	33,6	266
1956	1,32	6,7	0,197	7	39,0	260
1973	1,67	6,3	0,265	9	33,7	250
1976	1,76	6,4	0,275	10	39,5	252,8
	Доменные печи полезным объемом 1370 м³					
1954	1,38	5,92	0,233	7	47,1	279
1955	1,57	7,68	0,204	7	42,1	323
1962	1,57	8,0	0,20	8	38,0	304
1964	1,62	7,3	0,22	9	35,6	259,5
1975	2,1	6,98	0,30	10	43,2	301,5
1977	2,27	7,18	0,314	10	45,2	324,5
1977	2,18	6,46	0,337	12	40,4	261
1979	2,19	6,76	0,32	12	39,2	265
2002	2,28	4,29	0,53	15	50,1	216
2009	2,26	3,91	0,58	12	57,8	226
	Доменные печи полезным объемом 2000 м³					
1970	2,9	9,3	0,312	12	38	353,4
1972	2,94	9,32	0,315	12	44	410
1975	3,39	7,55	0,46	13	49,6	374,5
1978	3,51	7,45	0,47	14	48,4	380,6
1983	3,60	7,86	0,46	14	46,5	365,5
2009	2,95	5,96	0,49	14	49,5	295,5

Данные в табл. 1 приведены в хронологическом порядке – по годам. Число выпусков на доменных печах увеличивали с течением времени, поэтому данные в таблице фактически расположились в порядке возрастания частоты выпусков.

Независимо от полезного объема печи выявились сходные тенденции в изменении характера режима опорожнения. Они выражались в следующем. Постоянно возрастала производительность доменных печей, что заставляло технологов увеличивать число выпусков. В результате увеличилась доля продолжительности выпуска в цикле. Абсолютная величина продол-

жительности выпуска изменялась сравнительно мало, так как массовая скорость выхода чугуна q_0 несколько падала (с 7-8 до 6-7 т/мин на доменных печах объемом 1180-1370 м³ и с 9-10 до 7-8 т/мин на доменных печах объемом 2000 м³). Таким образом, уменьшение количества чугуна, накапливаемого перед выпуском, достигалось на ММК в основном за счет уменьшения интервала времени между выпусками.

Подобная картина имела место на доменных печах других заводов страны, например на доменных печах ЧерМК (табл. 2).

Таблица 2

Изменение характеристик режима выпусков на доменных печах ЧерМК («Северсталь»)

Год	Массовая скорость, т/мин		Отношение q_n / q_0 или t_b / T	Число выпусков N	Продолжительность выпуска, мин	Средняя масса выпуска, т
	накопления q_n	выпуска q_0				
	Доменные печи полезным объемом 2000 м³					
1972	3,24	7,25	0,442	12	52,7	348
1972	3,33	7,41	0,45	15	42,6	317
1978	3,24	7,0	0,46	15	44,5	310
1982	3,45	6,26	0,548	18	43,6	273
2004	3,39	4,45	0,548	18	66	275
	Доменные печи полезным объемом 2700 м³					
1972	4,08	6,45	0,484	15	46,9	387,4
1974	4,18	8,68	0,482	15	45,9	399,3
1978	4,42	7,59	0,583	18	45,8	348
1980	4,23	7,08	0,60	18	47,9	339,5
	Доменная печь полезным объемом 5580 м³					
2004	7,11	7,51	0,944	18	93,5	662,5

На многих доменных печах зарубежных заводов, а также на большинстве доменных печах большого объема в нашей стране (ЗСМК, НЛМК) реализуется другой путь уменьшения массы чугуна в горне перед выпуском – уменьшение массовой скорости выпуска чугуна (табл. 3).

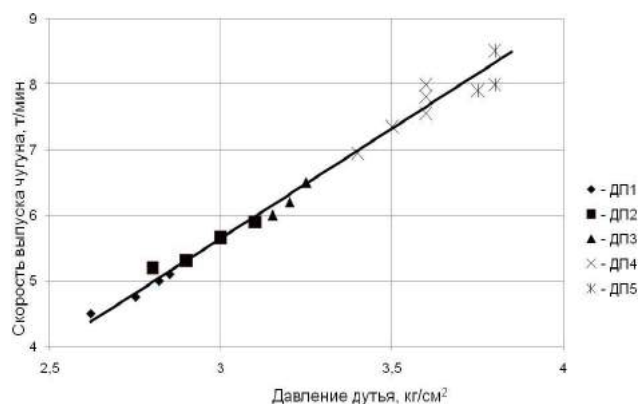
Как видно из данных табл. 3, на ряде доменных печей большого объема скорости истечения уменьшены до 4-5 т/мин. Это привело к увеличению длительности выпуска на одну летку до 100-130 мин. Применение таких режимов стало возможным в связи с уменьшением диаметра пробуриваемого канала летки и использованием безводной леточной массы. Скорость выпуска является функцией давления газов в горне (см. рисунок) [4], а также длины канала (l) и его диаметра (d).

Значительное влияние на режим выпусков оказывает и тот факт, что при переходе на заливные желоба в несколько раз возросло время полного ремонта желоба (~ до 4,5–7 сут), в течение которого, естественно, летка исключается из работы. Это неминуемо приведет в той или иной степени к развитию окружающей неравномерности газового потока, особенно на печах большого объема (полезным объемом более 2000 м³). В некоторой степени это неблагоприятное воздействие компенсируется современной тенденцией работы на «сухих» горнах, что позволяет поддерживать достаточное расстояние между горизонтом воздушных фурм и поверхностью раздела «газ-шлак» для обеспечения удовлетворительного распределения газов по горизонтальному сечению горна. Очевидно, что снижению уровня расплавов в горне и его постоянству способствует приближение скорости опорожнения горна (q_o) к скорости накопления (q_n).

Оба направления в изменении режима опорожнения горна (как увеличение числа выпусков при постоянной q_o , так и продолжительности выпуска при уменьшении q_o) уменьшают интервал времени между выпусками. Поэтому их влияние на ход доменного процесса, в основном, одинаковое.

Оба эти направления в изменении режима ведут к различным внешним последствиям: изменению стойкости канала чугунной летки и желобов. Режимы быстрого и медленного опорожнения различаются числом открываний и закрытий чугунных леток, потерями на скрап, расходом запорочных материалов,

выносом коксовой мелочи, затратами труда и другими последствиями. Преимуществами выпуска чугуна с невысокими скоростями являются: снижение износа главного желоба в месте падения струи чугуна, снижение числа возмущений хода доменной плавки при колебаниях уровня продуктов плавки в горне.



Зависимость скорости выпуска чугуна от давления дутья на доменных печах завода Fukujama, Япония [4]

Выпуск чугуна заканчивается продувкой чугунной летки горновым газом и заполнением её канала леточной массой. Продувка необходима, чтобы убедиться в достаточно полной выдаче чугуна и шлака из печи. Регулярная продувка летки повышает температуру слоя кокса в секторах чугунных леток, в результате в этой области растет подвижность шлака, лучше идут процессы обескислеривания [5]. Но должно быть четко определено время продувки, так как кроме положительного влияния продувка оказывает и негативное.

Отрицательными являются следующие явления: потери тепла и восстановителей с горновыми газами, загрязнение атмосферы, рост потерь металла со шлаком [5]. По химическому составу капли чугуна крупнее двух миллиметров из шлакового желоба близки к химическому составу брызг чугуна такого же размера, выносимых горновым газом. Это свидетельствует о существенном влиянии на величину потерь металла со шлаком, особенно значительных при длительной продувке летки, когда поток брызг достигает скиммера [5]. Следовательно, при нормальном ходе доменной плавки время продувки (t_{np}) необходимо строго регламентировать – ограничить одной - двумя минутами.

Таблица 3

Характеристики режима выпусков на доменных печах с пониженной скоростью выхода чугуна

Доменная печь		Завод, город, страна	Массовая скорость, т/мин		Отношение q_n/q_o	Число выпусков	Продолжительность выпуска, мин
Номер	Объем, м ³		накопления	выпуска			
1	2323	Фукуяма, Япония	3,57	4,03	0,885	9-10	129
2	2828	То же	4,03	4,86	0,830	11	110
3	3016	То же	4,84	5,55	0,872	11	114
3	1040	Дортмунд, ФРГ	2,78	4,5	0,618	8	100
7	2215	Вестфаленхютте, ФРГ	2,92	4,5	0,649	8	120
	2490	Фос-сюр-Мер, Франция	3,71	5	0,743	10-11	100
1	3000	ЗСМК	4,1	5,53	0,742	10-12	80-100
6	3200	НЛМК	4,75	6,32	0,753	13	66,3

В связи с наличием трех-четырех леток на мощных доменных печах и возможностью совместного выпуска через две, а то и через три летки одновременно (что может применяться при ликвидации расстройств хода печи), как еще один параметр режима выпусков предлагаем учитывать *совместное время выпуска чугуна - тсовм*. Примером является принятый режим выпусков жидких продуктов плавки доменной печи № 2 в Швельгерне одновременно на две летки [6], при котором заметно улучшилось качество чугуна по содержанию серы (среднее содержание [S] составило 0,030 против 0,037% при выпуске на одну летку, количество выпусков с содержанием серы > 0,040 % сократилось вдвое).

Заключение

Анализ данных о влиянии произошедших за последние 20 лет технических достижений позволяет рекомендовать выбирать режим выпусков таким образом, чтобы увеличить продолжительность каждого выпуска за счет уменьшения его массовой скорости. Это поможет сократить число возмущений хода доменной плавки, снизить трудоемкость горновых работ и будет способствовать уменьшению содержания серы в чугуне, вредных выбросов в атмосферу.

Список литературы

1. Кропотов В.К., Монетов Г.В. К вопросу об оптимальных режимах выпуска чугуна и условиях их реализации // Производство чугуна: межвуз. сб. науч. тр. Магнитогорск: МГМИ, 1974. С.8–10.
2. Измерение фактического давления шихты на горизонте воздушных фурм доменной печи / Г.А.Воловик, Б.В. Боклан, В.И. Бондаренко и

др. // Доменное производство: темат. отрасл. сб. / МЧМ СССР. М.: Металлургия, 1975. Вып. 2. С. 75–77.

3. Прохоров И.Е., Кропотов В.К. Анализ возможности использования в доменной плавке железорудного сырья, приводящего к нарушению дренажной способности горна доменных печей: отчет о НИР по гранту PD 02-2.9.-31. № ГР 01040001791. Магнитогорск, 2004. 166 с.
4. Higuchi M., Iizuka M., Shibuya T. High top pressure operation of Blast furnaces at Nippon Kokan KK // Journal of the Iron and Steel Institute. September, 1973. P. 1–12.
5. Бабарыкин Н.Н. Теория и технология доменного процесса: учеб. пособие. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2009. 257 с.
6. Повышение производительности доменных печей / Хартинг В., Лангер К., Люнген Г.Б., Штрикер К.П. // Черные металлы. 1996. № 12. С.17–25.

Bibliography

1. Kropotov V.K., Monetov G.V. On the question of optimal modes of iron discharge and the conditions for their implementation. // "Production of pig iron" Interuniversity collection of scientific treatises. / Magnitogorsk: MGMI, 1974. P.8-10.
2. Volovik G.A., Boklan B.V., Bondarenko V.I. and others. Measuring of the actual burden pressure at the level of blast furnace tuyeres. // "Blast-furnace production": The thematic industry publication. MFM of the USSR. Moscow: Metallurgies, 1975. Issue 2. P.75-77.
3. Prokhorov I.E., Kropotov V.K. Analysis of processing in blast furnace of iron ore that result to violation of drainage ability of the blast furnace hearth. // Report on research grant PD 02-2.9.-31. State reg. No. 01040001791, Magnitogorsk, 2004. 166 p.
4. Higuchi M., Iizuka M., Shibuya T. High top pressure operation of Blast furnaces at Nippon Kokan KK // Journal of the Iron and Steel Institute. September 1973. P. 1-12.
5. Babarykin N.N. Theory and technology of the blast furnace process: the manual. /Magnitogorsk: SEI HPE MGTU named after G.I. Nosov, 2009. 257p.
6. Harting V., Langer K., Lungen G.B., Shtriker K.P. Increasing of blast furnaces productivity. // Ferrous metals. 1996. No.12. P.17-25.

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

УДК 621.785.72:621.771.07

Вдовин К.Н., Зайцева А.А.

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ВАЛКОВЫЙ ЧУГУН, МОДИФИЦИРОВАННЫЙ БОРОМ

Прокатное производство занимает в металлургической промышленности важное место, так как часто производит окончательную продукцию. Ежегодное производство проката характеризуется расширением сортамента и увеличением выпуска. От производимого проката зависит большое количество сфер деятельности человека, начиная от изготовления посуды и заканчивая сложнейшим автомобилем – и машиностроением, поэтому главной задачей на сегодняшний момент является повышение качества прокатной продукции. Емкость внутреннего рынка металлопроката в январе 2011 года составила 139% против января 2009 года, а объем производства готового проката – 112,2%. Расширение внутреннего потребления листового проката составило в январе 135,7%, а сортового проката – 143,3%. В январе 2011 доля российского металла во внутреннем потреблении составила 91,1%, или 32 млн т [1].

За последние десятилетия в прокатном производстве наметились серьезные изменения, связанные с требованиями пользователей продукции. В первую очередь, это улучшение ее качества и повышение экономических показателей. Эти требования не всегда могут быть выполнены в силу некоторых проблем, имеющих в работе прокатных станков, например их конструкция, качество валков и т.п.

Несмотря на то, что прокатные валки являются сменной частью прокатного оборудования, они могут оказывать существенное влияние на качество прокатной продукции, поскольку непосредственно контактируют с ней. Валки должны отвечать современным требованиям как по качеству, так и иметь приемлемый уровень стоимости их производства.

Качество прокатных валков находится под строгим наблюдением производителей и пользователей. Но поиски способов повышения стойкости валков не прекращаются. Что касается чугунных валков, то это, в первую очередь, легирование и модифицирование чугуна перспективными химическими элементами. Они могут воздействовать на структуру и свойства чугуна, прежде всего, за счет создания дополнительных центров кристаллизации. В настоящее время самыми распространенными модифицирующими элементами, которые ис-

пользуются для валкового чугуна, являются ниобий, титан, ванадий, молибден, бор и др.

Особый интерес из применяемых модификаторов для валкового чугуна представляет бор, поскольку из всех элементов именно он по своим атомным характеристикам наиболее близко подходит к углероду [2].

Бор (borum, старое название boracium и boron; химическая формула - В) – химический элемент III группы периодической системы Менделеева, атомный номер 5, атомная масса 10,811, кристаллы серовато-черного цвета (очень чистый бор бесцветен).

Влияние бора на свойства железа подобно влиянию углерода, но в несколько раз более сильное. Добавка бора способствует измельчению зерна железа и дает возможность использовать термическую обработку для повышения его свойств [3].

В условиях литейной лаборатории МГТУ им. Носова провели исследования по влиянию температурного режима термической обработки на валковый чугун, модифицированный бором. Исследования осуществляли в два этапа.

Первый этап состоял в выборе рационального содержания бора в валковом чугуне. Чугун, который модифицировали бором, по химическому составу соответствовал рабочему валковому чугуну марки ЛПХНМд-71И (табл. 1).

Таблица 1

Рекомендуемый химический состав рабочего слоя валкового чугуна в ОАО «Магнитогорский завод прокатных валков»

Марка чугуна	Химический состав чугуна, %								
ЛПХНМд-71	C	Si	Mn	S≤	P≤	Cr	Ni	Mo	Mg
	3,0-3,4	0,7-1,2	0,5-1,2	0,1	0,15	1,4-2,0	4,0-4,7	0,2-0,5	<0,03

По известному химическому составу (см. табл. 1) выплавляли валковый чугун с различным содержанием бора.

Химический состав изготовленных образцов представлен в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав изготовленных образцов

Номер плавки	Химический состав, %								
	C	S		S≤	P≤	Cr	Ni	Mo	B
1	3,16	0,83	0,91	0,03	0,048	1,77	4,36	0,40	0,06
2	3,13	0,82	0,91	0,027	0,047	1,77	4,34	0,40	0,09
3	3,14	0,80	0,91	0,020	0,048	1,77	4,33	0,40	0,04

Макроструктура образцов хорошая, а микроструктура представлена на рис. 1.

Равномерное распределение структурных составляющих в чугунах соответствует лучшим эксплуатационным характеристикам сплава. Как видно из рис. 1, наиболее равномерное распределение этих составляющих (цементита и металлической основы) соответствует образцу чугуна № 1 с содержанием бора 0,06%. Поэтому для проведения исследований температурного режима термической обработки чугуна были взяты именно эти образцы.

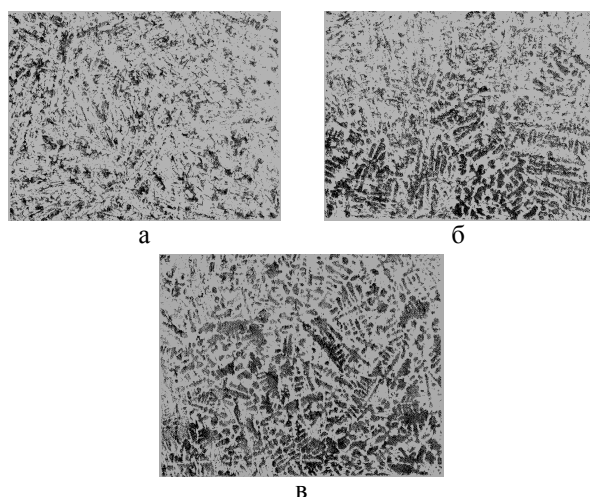


Рис. 1. Микроструктура образцов чугуна с различным содержанием бора (x100), %: а – 0,06; б – 0,09; в – 0,04

Обычно для валковых чугунов применяют термическую обработку – отпуск, который служит не только для снятия внутренних напряжений, но и обеспечивает искусственное старение металла вала. Образцы № 3 (см. табл. 2) одинаковых размеров и химического состава нагревали с одинаковой скоростью (15°C /ч) до разных температур: 300, 450 и 550°C и выдерживали 2 ч, а затем охлаждали на воздухе.

Микроструктуры образцов чугуна с различными температурами отпуска приведены на рис. 2.

Микроструктура образцов представляет собой металлическую матрицу, состоящую из аустенита и мартенсита, и карбидов (цементитная фаза).

Результаты исследования механических свойств полученного чугуна представлены в табл. 3.

Из данных табл. 3 видно, что отпуск валкового чугуна, проведенный при температуре 300°C, на твердость и микротвердость его существенно не влияет. Повышение данных характеристик наблюдается при применении отпуска более высоких температур – 450 и 550°C.

Повышение микротвердости металлической матрицы объясняется ростом количества мартенсита при повышении температуры отпуска, а повышение микротвердости цементитной фазы – способностью бора упрочнять цементит.

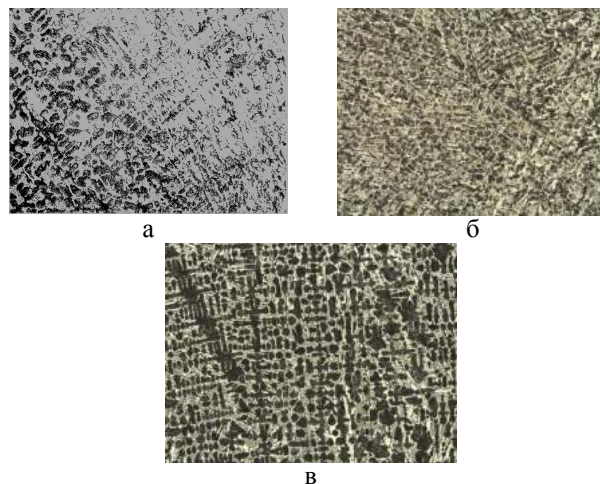


Рис. 2. Микроструктура образцов после термической обработки (x100): а – отпуск 300°C; б – отпуск 450°C; в – отпуск 550°C

Таблица 3

Свойства модифицированного бором валкового чугуна до термообработки и после

Температура отпуска, °C	Характеристика образцов		
	Микротвердость цементита, HV	Микротвердость металлической матрицы, HV	Твердость, HRC
Без проведения отпуска	566, 627, 681	399, 390, 409	50,0; 50,0; 51,0
300	612, 536, 677	412, 392, 403	50,0; 51,0; 51,0
450	883, 801, 860	371, 447, 540	57,0; 57,0; 57,0
550	965, 995, 1254	473, 513, 566	62,0; 62,0; 62,0

После введения бора в чугун в его цементитной структурной составляющей образуется карбидная фаза бора, которая в отличие от обычных карбидных фаз используется в качестве упрочняющейся составляющей [4].

Бор имеет большое сродство к углероду, поэтому он способен заменять атомы углерода в решетке цементита. Формула цементита в таком случае принимает вид $Fe_3C_nB_{1-n}$. Речь идет о борокарбиде, т. е. бороцементите, в которых часть атомов углерода в решетке цементита замещены атомами бора [5].

При повышении температуры соотношение бора и углерода в цементите изменяется – способность замены атомов углерода бором повышается, и цементитная фаза становится более твердой. Изменений в размерах карбидной фазы не наблюдали, а повышение температуры отпуска, в исследованных пределах, не влияет на коагуляцию и рост карбидов

Из данных табл. 3 видно, что с ростом температуры отпуска твердость испытуемого чугуна марки ЛПХНМд-71(И) повышается. Она является одной из основных характеристик рабочего слоя вала, к которым предъявляются особые требования. Так как износостойкость находится в прямой зависимости от твердости, то повышение температуры отпуска будет положительно влиять и на износостойкость.

Список литературы

1. Металлоснабжение и сбыт. URL: <http://www.metalinfo.ru>.
2. Мчедлишвили В.А., Ховрина В.В. Бор, кальций, ниобий, цирконий в чугунах и сталях: пер. с англ. и под ред. С. М. Винарова. М.: Металлургиздат, 1961. 448 с.
3. Металловедение и термическая обработка стали и чугуна: справ. изд.: в 3 т. / М.Л. Бернштейн, Г.В. Курдюмов, В.С. Мескин и др.; под общ. ред. А.Г. Рахштадта, Л.М. Кауткиной, С.Д. Прокошкина, А.В. Супова. Т. 2. Строение стали и чугуна. М.: Интернет Инжиниринг, 2005. 528 с.

4. Кюку Д., Нэва Н. и Фасевич Ю. Влияние бора на структуру и свойства стали // Сборник 65 мирового литейного конгресса. 2002. С. 45–48.
5. Крукович М.Г., Прусаков Б.А., Сизов И.Г. Пластичность борированных слоев. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 384 с.

Bibliography

1. Magazine «Metal supply and sale» // www.metalinfo.ru
2. Boron, calcium, columbium, and zirconium in iron and steel/Published for The Engineering Foundation by John Wiley & Sons, inc., New York Charman & Hall, Ltd., London, 1961
3. Metallography and heat treatment of steel and iron: Refer. pub. in 3th v./M. L. Bernshtein, G. V. Kurdumov, V. S. Meskin and others/pub. by A. G. Rahshtadta, L. M. Kautkinoi, S. D. Proshkin, A. V. Supova. T.2. Structure of steel and iron. – M.: Internet Engineering, 2005. – 528 p.: il.
4. D. Kuku, N. Nevar and Yu. Fasevich (Belorussian State Polytechnic Academy, Minsk, Belarus) The effect of boron on the structure and properties of a cast steel //Proceedings of 65th World Foundry Congress Gyeongju, Korea, 2002
5. Krukovich M. G., Prusakov B. A., Sizov I. G. Plasticity of boronized layers. – M.: FIZMATLIT, 2010. – 384 p.

УДК 621.74

Сушко Т.И., Леднев А.С., Пашнева Т.В., Турищев В.В., Руднева И.Г.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВКИ «КОРПУС» МЕТОДОМ ЛВМ

В настоящее время в ОАО «КБХА» (г. Воронеж) для разработки технологического процесса получения новых литых изделий применяется метод «Проб и ошибок», что приводит к браку, многократному исправлению модельной оснастки, лишним плавкам металла и, как следствие, к длительному сроку освоения новых изделий и удорожанию конечной продукции. Несмотря на огромный опыт проектирования литниково-питающих систем в ОАО «КБХА», освоение новых изделий занимает длительный период времени. Причина этого – чрезвычайная сложность процессов формирования отливки в случае метода ЛВМ и отсутствие универсального метода проектирования ЛПС.

Для сокращения сроков и стоимости подготовки производства, а также снижения себестоимости отливок целесообразно использовать системы автоматизированного моделирования литейных процессов (САМ ЛП), предназначенные для моделирования литейных процессов заполнения формы металлом, затвердевания, образования усадочных раковин, макро- и микропористости, развития напряжений, цель которых – ускоренный поиск оптимальных параметров процесса затвердевания.

Целью данной работы являлось исследование процесса формирования отливки «Корпус», получаемой методом ЛВМ с помощью компьютерного моделирования в САМ ЛП LVMFlow.

LVMFlow – профессиональная САМ-система компьютерного 3D моделирования литейных процессов, позволяющая автоматизировать рабочее место технолога-литейщика и снизить затраты времени и средств на подготовку новых изделий. Современный подход к разработке технологического процесса получения качественных отливок основан на интенсивном использовании компьютерной техники, необходимого программного обеспечения и технологическо-

го оборудования на всех циклах отработки. Рабочее место технолога-литейщика оснащается компьютерной техникой для работы с конструкторской программой твердотельного моделирования SolidWorks, которая позволяет на основе исходного чертежа детали быстро создавать трехмерную модель отливки с ЛПС, а также сопутствующую документацию.

В зависимости от сложности получаемой отливки поиск оптимальной конструкции ЛПС с помощью САМ ЛП LVMFlow занимает 1–3 дня. При этом участие технолога-литейщика сводится к минимуму: ему остается лишь задать параметры моделирования и, после того как программа самостоятельно проведет расчет и подготовит результаты для просмотра, выбрать оптимальный вариант.

При необходимости, трехмерная модель передается технологу-программисту, который подготавливает управляющую программу для изготовления модельной оснастки на станках с ЧПУ.

Таким образом, внедрение LVMFlow служит основой для создания на предприятии системы сквозного проектирования литейной технологии, которая позволит производить изделия с требуемым уровнем качества в кратчайшие сроки.

С целью сокращения сроков отработки технологического процесса получения качественных литых изделий от ОАО «КБХА» поступило задание на проведение компьютерного моделирования отливки «Корпус».

Изделие «Корпус» представляет собой конструкцию, состоящую из двух цилиндров, пересекающихся под прямым углом с массивными фланцами (рис. 1).

Учитывая особенности геометрии изделия и предъявляемые эксплуатационные требования, было определено расположение отливки в форме – горизонтальное – для обеспечения получения плотного металла.

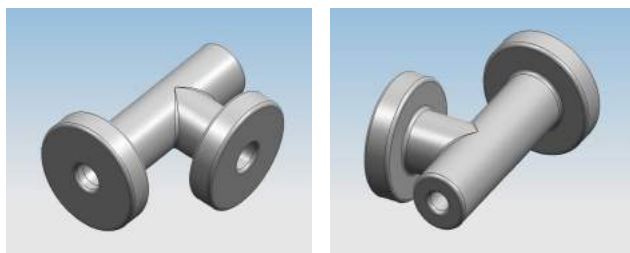


Рис. 1. Исходная модель изделия

По согласованию с отделом главного металлурга разработаны предварительные варианты литниково-питающей системы:

Вариант 1–3 массивные прибыли, расположенные на тепловых узлах отливки с подводом металла через боковую прибыль (рис. 2).

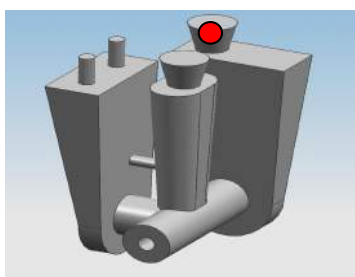


Рис. 2. Подвод металла через боковую прибыль

Вариант 2–3 массивные прибыли, расположенные на тепловых узлах отливки с подводом металла через центральную прибыль (рис. 3).

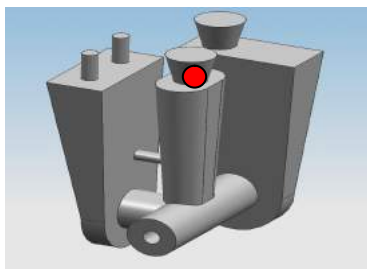


Рис. 3. Подвод металла через центральную прибыль

Исходные данные для компьютерного моделирования задавались с учетом действующей технологии в ОАО «КБХА»:

- марка сплава – сталь 30ХМЛ;
- метод литья – литье по выплавляемым моделям с шамотным наполнителем;
- температура заливки металла – 1600°С;
- толщина оболочки – 25 мм;
- начальная температура формы – 700°С;
- время заливки – 30–40 с.

Дефекты обнаружены в тепловых узлах: под центральной и боковыми прибылями. Величина усадочной пористости достигает 8%, что является критичной для данного вида изделия.

Результаты моделирования вариантов 1 и 2 представлены на рис. 4.

Обнаружено, что в процессе затвердевания соединительные каналы, служащие для обеспечения оптимального заполнения формы металлом, затвердевают с большей скоростью и нарушают принцип направленного затвердевания (рис. 5). При дальнейшем исследовании данные каналы из конструкции удалены.

В процессе моделирования обнаружилось, что подвод металла через центральную прибыль сильно разогревает керамическую оболочку в месте соединения проходных каналов и приводит к значительным дефектам.

С другой стороны, заливка через боковую прибыль затруднена из-за конструкции вакуумной печи.

Дальнейшее моделирование проводили путем оптимизации центральной прибыли. Предложен вариант 3 с увеличенными размерами центральной прибыли. Результаты моделирования представлены на рис. 6.

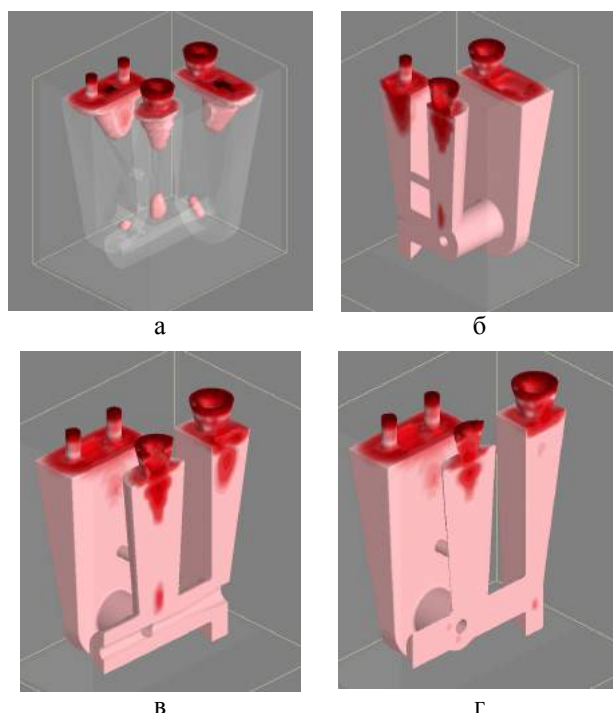


Рис. 4. Усадочные дефекты: а, б – вариант 1; в, г – вариант 2

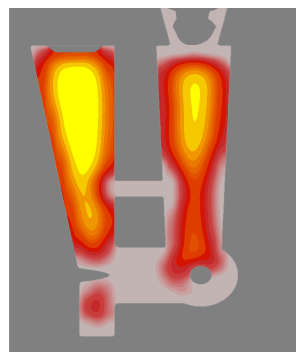


Рис. 5. Влияние соединительных каналов на затвердевание – жидкий металл

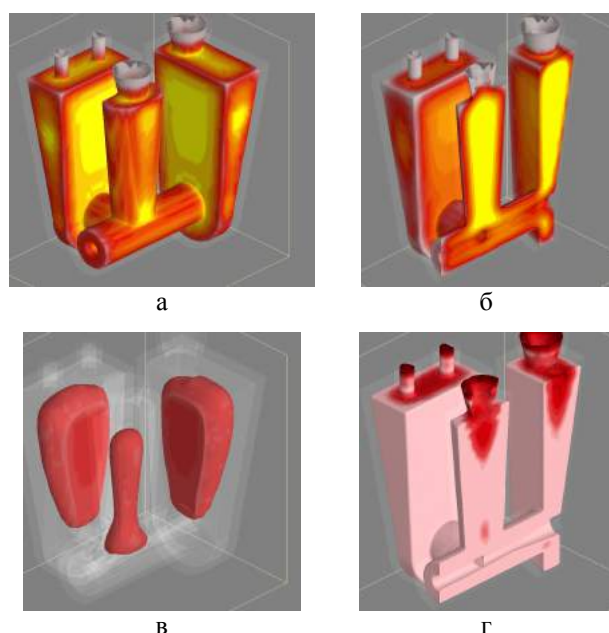


Рис. 6. Процесс затвердевания – жидкий металл (вариант 3): а – 1 мин; б – 6 мин; в – 30 мин; г – усадочные дефекты

Как видно из полученных результатов, уровень дефектов по вариантам 1, 2 и 3 превышает допустимые значения.

Учитывая неудовлетворительные результаты по вариантам 1, 2 и 3, предложен вариант 4 – заливка металла через литниковую чашу с подводом металла в верхнюю часть прибылей (рис. 7). Высота центральной прибыли уменьшена на 100 мм, что позволяет сэкономить 40 кг металла.

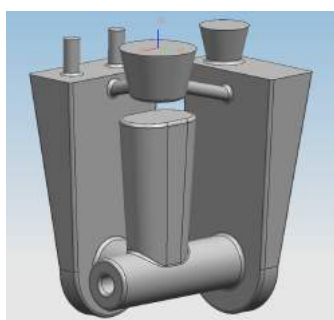


Рис. 7. Вариант 4

Данный вариант конструкции ЛПС должен обеспечить подвод горячего металла в верхнюю часть прибыли к моменту окончания заливки для обеспечения направленного затвердевания.

Как показали результаты моделирования, уровень усадочных дефектов в проблемных зонах минимален и составляет менее 1%. Однако, учитывая высоту падения металла, вероятно разрушение керамической оболочки. Поэтому дальнейшая оптимизация данной конструкции ЛПС не проводилась.

Этапы заливки по варианту 4 представлены на рис. 8, 9.

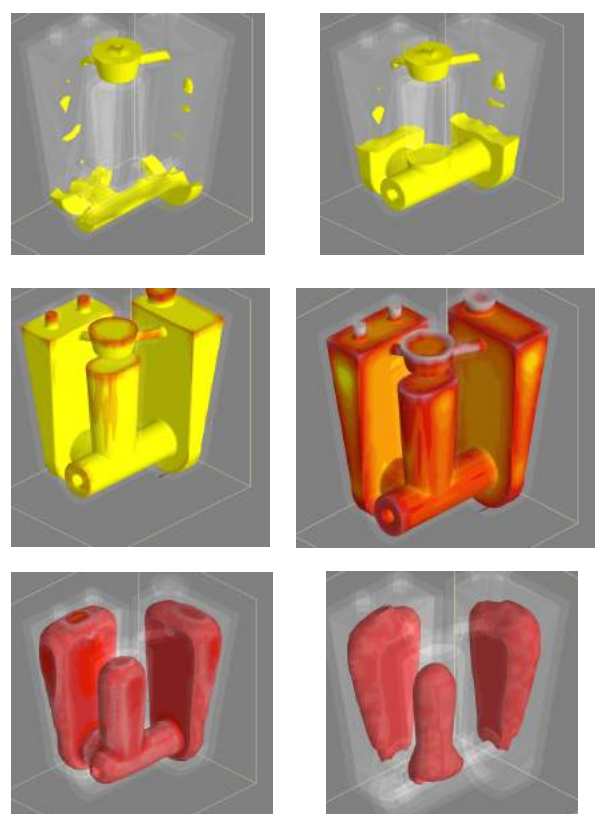


Рис. 8. Жидкий металл (вариант 4)

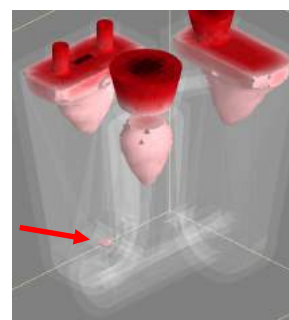


Рис. 9. Усадочная пористость в боковом фланце (вариант 4)

Учитывая положительные результаты моделирования варианта 4, предложен вариант конструкции ЛПС (вариант 5), представленный на рис. 10.

Конструкция ЛПС должна обеспечить ярусное заполнение формы металлом с подводом горячего металла в верхнюю часть прибылей. С этой целью применена система питателей диаметром 20 мм в нижнем ярусе и 40 мм в верхнем с подводом металла к трем прибылям. Высота прибылей уменьшена на 100 мм, что обеспечивает снижение металлоемкости формы на 20%.

Анализ результатов моделирования показал, что усадочная пористость в проблемных местах составляет менее 0,5% размерами 5x5 мм и выведена в зону механической обработки, что является положительным результатом с учетом эксплуатационных характеристик изделия (рис. 11).

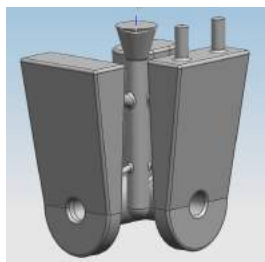
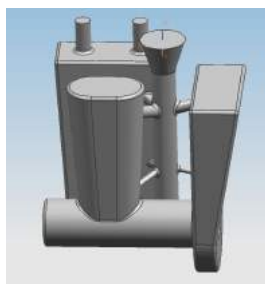


Рис. 10. Вариант 5

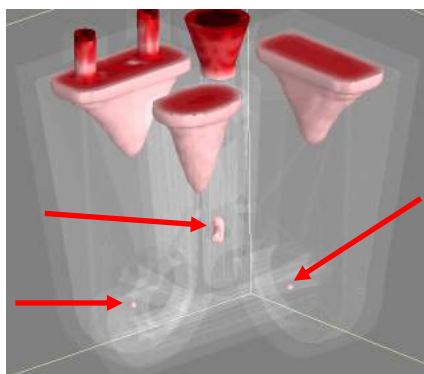


Рис. 11. Усадочная пористость

Выводы

1. Учитывая особенности геометрии изделия и предъявляемые эксплуатационные требования, определено расположение отливки в форме – горизонтальное – для обеспечения получения плотного металла.
2. При вариантах 1, 2 и 3 заливки металла через прибыли происходит разогрев формы в месте падения струи, что приводит к нарушению принципа направленного затвердевания и, в итоге, к дефектам усадоч-

ного происхождения.

3. Вариант 4 с распределенным подводом металла в верхнюю часть прибылей может привести к разрушению керамической оболочки.

4. Вариант 5 с распределенным подводом металлом через систему ярусных питателей обеспечивает получение качественной отливки. При этом снижена металлоемкость формы на 20%.

5. Временные затраты на моделирование 5 вариантов приведены в таблице.

Временные затраты на моделирование (мин)

Вариант	Построение 3D модели	Ввод начальных условий в LVMFlow	Моделирование затвердевания (без учета заливки)	Моделирование с учетом заливки металла	Итого
1	40	2	1	15	58
2	5	2	1	15	23
3	5	2	1	15	23
4	10	2	1	1	28
5	10	2	1	15	28

В итоге, временные затраты на проведение моделирования пяти вариантов составили менее 3 ч. Поиск оптимальной конструкции ЛПС в ОАО «КБХА» составляет примерно 1–3 месяца. Таким образом, достигнуто сокращение сроков подготовки производства в 100 раз! При этом не проводилось изготовление оснастки, пробные плавки металла и механическая обработка.

Список литературы

1. Экономика предприятия: учебник / С.К. Волков, Р.В. Воробьева и др.; под ред. С.К. Волкова. М.: АРТЭС, 1997. 120 с.
2. Смирнов Г.А. Неисчерпаемый кокиль. М.: Техника молодежи. 2003. № 7. С. 21–24.
3. Выбор оптимальной системы моделирования литейных процессов / Воронков Б.Г., Турищев В.В. // CADmaster. 2005. № 2. С. 21–25.

Bibliography

1. Enterprise economics: a textbook / S.K. Volkov, R.V. Vorobjeva and others.; ed. S.K. Volkov. – Moscow: ARTES, 1997. –120.
2. Smirnov G.A. Inexhaustible chill / Smirnov G.A.. // M.: – Technology molodezhi: – 2003. № 7.– With. 21–24.
3. Voronkov B.G. Selecting the optimal system simulation of foundry processes / Voronkov B.G., Turishev V.V. // M: – CAD master.– 2005. № 2.– with 21–25.

ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.771.06: 621.892

Платов С.И., Румянцев М.И., Дема Р.Р., Харченко М.В.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ С ПОДАЧЕЙ СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА МЕЖДУ ОПОРНЫМ И РАБОЧИМ ВАЛКАМИ НА НЕПРЕРЫВНОМ ШИРОКОПОЛОСНОМ СТАНЕ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ 2000 ОАО «ММК»

Как фактор улучшения качества проката и интенсификации производства технологические смазки нашли широкое применение не только при холодной, но и при горячей прокатке [1–6]. В [5] указывается, что эффект горячей прокатки со смазкой заключается в снижении усилия и мощности прокатки, а также в повышении стойкости рабочих валков за счет уменьшения абразивного износа и сокращения случаев образования трещин разгара. До недавнего времени, как и при холодной прокатке, смазку подавали на рабочие валки. Сегодня, в силу ряда преимуществ, все большее распространение получают установки дозированной подачи смазки в виде дисперсии масла в воде на опорные валки стана горячей прокатки. В [7] приводятся следующие показатели эффективности применения подобных установок на широкополосных станах горячей прокатки (ШСПП): износостойкость валков увеличивается на 5–14%, потребление энергии снижается на 10–35%, отсортировка по дефекту «вкатанная (разгарная) окалина» сокращается примерно в 2 раза, создаются предпосылки для расширения сортамента за счет прокатки более тонких полос и проведения прокатки в ферритной области.

В настоящее время один из вариантов установки для приготовления и дозированной подачи водно-масляной смеси на опорные валки (далее – СТС), разработанный и изготовленный MIDAS, применяется в первых трех клетях чистовой группы ШСПП 2000 ОАО «ММК» (в соответствии с принятыми на стане правилами обозначения – в клетях 7, 8 и 9). В процессе опытной эксплуатации специалистами были определены следующие рациональные объемы подачи смеси: 0,08 л/мин – на верхние опорные валки и 0,10 л/мин – на нижние [8]. Указанные расходы смазки поддерживаются неизменными, т. е. не изменяются ни в связи с размерами полос, ни в связи с технологическими особенностями их прокатки. Для количественной оценки эффективности работы системы СТС и разработки в дальнейшем рекомендаций по оптимизации режимов ее работы была создана база данных параметров прокатки в чистовой группе ШСПП 2000 более чем 400 полос различных размеров и групп прочности как при

действующей, так и при выключенной СТС.

Влияние смазки опорных валков на энергосиловые параметры оценили сравнением средних значений усилия прокатки P , тока I и момента на валу двигателя $M_{дв}$. Усилие прокатки и ток двигателя измеряли с помощью датчиков АСУ ТП стана [9], а момент на валу двигателя рассчитывали с применением известных зависимостей:

$$M_{дв} = \frac{N_{дв}}{\omega}, \quad (1)$$

где ω – угловая скорость (рад/с); $N_{дв}$ – мощность прокатки (Вт).

$$N_{дв} = ((UI) - (I^2 R_{я}) - (UI_{хх}) - (I_{хх} R_{я})) i \eta, \quad (2)$$

где U – напряжение сети главного привода (В); i – передаточное число; η – КПД привода; $I_{хх}$ – ток холостого хода (А); $R_{я}$ – сопротивление в якорной цепи (Ом).

Сравнение средних значений выполняли с применением инструмента «Двухвыборочный t-тест с различными дисперсиями» в среде MS Excel. Результаты анализа приведены в **таблице**. Для усилия прокатки рассчитанные t -статистики меньше табличного значения t_{α} , определяемого при доверительной вероятности 95%. Следовательно, различия усилий прокатки с применением смазки опорных валков и без нее не существенны, т.е. смазка на усилие прокатки не влияет. Для тока и момента двигателя различие средних наблюдается (выполняется условие $|t| \geq t_{\alpha}$), что свидетельствует о влиянии смазки на загрузку двигателя главного привода. Как и следовало ожидать, при использовании смазки характеристики загрузки двигателя меньше, чем при прокатке без смазки.

Результаты сравнения средних значений энергосиловых параметров прокатки при подаче (числитель) и без подачи (знаменатель) смазки на опорные валки

Оценка	Клеть 7			Клеть 8			Клеть 9		
	P, МН	I, кА	M _{дв} , кНм	P, МН	I, кА	M _{дв} , кНм	P, МН	I, кА	M _{дв} , кНм
$\bar{x}$	15,34 15,45	7,10 7,28	8,65 8,88	17,02 17,16	7,15 7,18	7,24 7,32	14,82 15,44	7,34 7,42	3,83 3,89
s	3,16 3,18	0,90 0,95	18,59 19,32	2,95 3,32	0,72 0,80	8,12 8,30	2,07 1,92	0,38 0,33	6,81 6,82
t	0,179	1,003	0,618	0,227	0,180	0,482	1,582	1,252	0,426
t _α	1,660	1,660	1,660	1,660	1,660	1,660	1,660	1,661	1,660
t _{α/2}	1,984	1,984	1,984	1,984	1,984	0,000	1,984	1,985	1,984

Примечание. $\bar{x}$ и s – среднее значение и выборочное стандартное отклонение; |t| и t_α – рассчитанное и табличное (при доверительной вероятности 95%) числа Стьюдента.

Для дальнейшего анализа показателем эффективности применения и режимов работы системы СТС выбрали момент на валу двигателя главного привода и оценили его значения для случаев прокатки различных профилируемых из стали с различными прочностными характеристиками. Рассматривали четыре группы толщины (1,2–2,0; 2,1–4,0; 4,1–8,0 и 8,1–20 мм) и три группы ширины (700–1000, 1001–1500 и 1501–1830 мм), а в качестве разбиения на группы по сопротивлению деформации стали приняли используемую на ШСПП 2000 классификацию на шесть групп выкатываемости. Для каждой марки стали, входящей в ту или иную группу выкатываемости, по методике Андреюка-Тюленева [10] рассчитали предел текучести при стандартных условиях испытания (σ_{0i}). Как и следовало ожидать, от первой группы к шестой σ_{0i} возрастает (рис. 1). Подчеркнем, что описанное разбиение прокатываемого сортамента носит условный характер и представляет собой вариант разграничения сходных по данным критериям марок стали для выявления тех определенных групп размерного и марочного сортамента, для которых достигался наибольший эффект от подачи дисперсной смеси при постоянных её объемах.

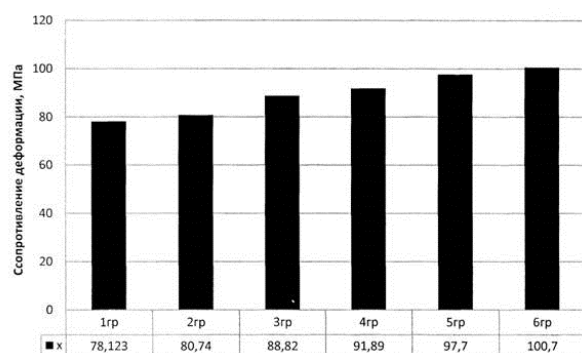


Рис. 1. Усредненные значения предела текучести при стандартных условиях испытания стали различных групп выкатываемости

Анализ эффективности применения смазки в за-

висимости от размеров полосы показал следующее. Наибольшие значения момента наблюдаются на валу двигателя первой клетки чистой группы (клеть 7). Чем меньше толщина (рис. 2) и больше ширина (рис. 3) готовой полосы, тем больше величина момента. При подаче смазочного материала момент двигателя снижается, причем величина снижения тем больше, чем больше момент при прокатке без смазки. Наибольшее значение в снижении этого показателя происходит на первой группе по толщине для 7 клетки (4,79%, см. рис. 2), а также на третьей группе по ширине для той же клетки (4,32%, см. рис. 3).

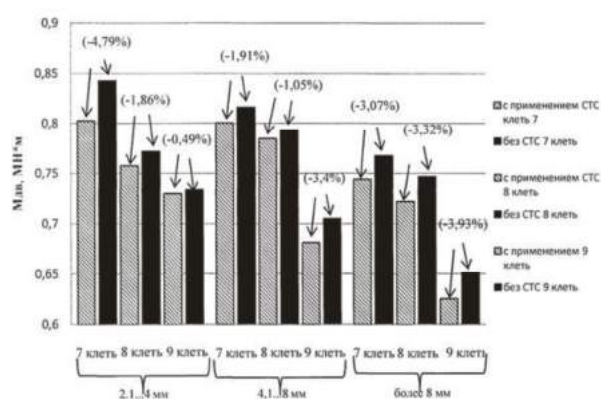


Рис. 2. Усредненное значение $M_{пр}$ в зависимости от толщины прокатываемого металла для 7–9 клеток чистой группы

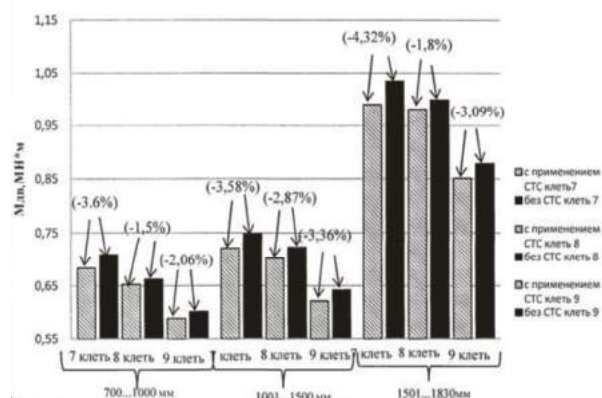


Рис. 3. Усредненное значение $M_{пр}$ 7–9 клеток чистой группы стана 2000 г.п. при различной ширине

Проведя комплексную оценку эффективности системы СТС, следует отметить, что применение данной системы оказывает положительное влияние на изменение энергосиловых параметров при прокатке:

1) среднее значение эффекта от применения системы СТС для момента на валу двигателя ($M_{дв}$) в соответствии с предложенной классификацией по толщине составляет от 2 до 3,44%, при этом наибольший

эффект наблюдается при прокатке металла, соответствующего толщине 3-й группы (4,1–8 мм), что приводит к уменьшению значения $M_{дв}$ на 3,44%;

2) эффект, связанный с применением системы СТС для момента на валу двигателя ($M_{дв}$), в соответствии с классификацией по ширине составляет от 1,5 до 4,3%, достигая наибольшего значения по группе в целом (3,07%) и в частности по 7 клетки (4,32%), соответствуя 3-й группе разбиения по ширинам (1501–1830 мм).

Список литературы

1. Грудев А.П. Внешнее трение при прокатке. М.: Металлургия, 1973. 288 с.
2. Эмульсия и смазки при холодной прокатке / Белосевич В.П., Нетесов Н.П., Мелешко В.И., Адамский С.Д. М.: Металлургия, 1976. 416 с.
3. Вейлер С.Я., Лихтман В.И. Действие смазок при обработке металлов давлением. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 232 с.
4. Чертавских А.К., Белосевич В.К. Трение и технологическая смазка при обработке металлов давлением. М.: Металлургия, 1968. 361 с.
5. Горячая прокатка листового стали с технологическими смазками / Тубольцев Л.Г., Килиевич А.Ф., Адамский С.Д., Нетесов Н.П. М.: Металлургия, 1982. 160 с.
6. Совершенствование непрерывного производства горячекатаной широкополосной стали (обзор зарубежных источников) // Производство проката. 2002. №4.
7. Опыт эксплуатации систем смазывания типа «масло-воздух» на прокатных станах ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» / Железков О.С., Жиркин Ю.В., Терентьев Д.В., Юрченко Г.Н., Мироненков Е.И. // Сб. трудов междунар. науч.-техн. конф. Ч.2. Липецк: ЛГТУ, 2006. С.106–108.

8. Разработка технологии эксплуатации рабочих и опорных валков чистовой группы стана 2000 с применением технологической смазки // Совершенствование технологии в ОАО «ММК»: сб. трудов ЦЛК ОАО «ММК» / И.В. Боровков, В.В. Клименко, И.В. Казаков и др. Магнитогорск, 2011. №15. С. 243–252.
9. Технологическая инструкция: ТИ – 374 – 2010 (НШСГП 2000).
10. Андреев А.В., Тюленев Г.Г., Прицкер Б.С. // Сталь. 1972. №6. С. 522–523.

Bibliography

1. Grudev A.P. Friction of rolling. M. «Metallurgia», 1973. 288p.
2. Belosevich V.P., Netesov N.P., Meleshko V.I., Adamsky S.D., Lubricant for cold rolling. M. «Metallurgia» 1976, 416p.
3. Veyler S.Y., Lichtman V.I., Lubricant in metal forming process. M., AOS USSR, 1960, 232p.
4. Chertavskich A.K., Belosevich V.P., Friction and lubricant in process of metal forming. M., «Metallurgy» 1968, 361p.
5. Tubolcev L.G., Kiliyevich A.P., Adamsky S.D., Netesov N.P., Hot rolling of plate sheets with lubricant. M., «Metallurgy» 1982. 160p.
6. Improvement of production continuous hot rolled strip. «Proisvodstvo prokata» №4, 2002
7. Experience to use system type «oil-air» on rolling mills. OJSC «MМК» / Gelezkov O.S. Jirkin Y.V., Terentev D.V., Yrchenko G.N., Mironenkov E.I. P.2., Lipetck, LSTU, 2006. – p. 106 – 108
8. Borovkov I.V., Development technology use work and backup rolls finishing train on hot rolling mill 2000 with use lubricants. Proceeding CLK OJSC «MМК» num. 15 Development of technology on «MМК» / I.V. Borovkov, V.V. Klimento, I.V. Kazakov and itc. – Magnitogorsk 2011, p. 243 – 245.
9. Instruction of technology hot rolling mill 2000 TI – 374 – 2010
10. Andreyk A.V., Tylenov G.G., Prisker B.S., Steel 1972 № 6 p.522–523.

УДК 621.771

Кинзин Д.И., Калугина О.Б.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФОРМЫ ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ НА УШИРЕНИЕ ПРИ СОРТОВОЙ ПРОКАТКЕ

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

Структурно-матричная модель постоянно совершенствуется и дополняется важными физическими принципами, которые делают ее более приближенной к реальному процессу прокатки. Одним из таких принципов стал принцип наименьшего сопротивления, который был сформулирован в виде уравнения связи смещенных объемов металла и напряжений в очаге деформации [1, 2]. На основе предложенной формулировки принципа наименьшего сопротивления получены формулы для расчета показателей формоизменения и энергосиловых параметров при прокатке в простых двух- и трехвалковых калибрах. Разработанная методика была интегрирована в структурно-матричную модель, что в большей части и определяет сферу ее применения. Данная интеграция позволила в полной мере использовать достоинства структурно-матричной модели, а это дает возможность применять ее не только как дополнение к уже су-

ществующим методикам и для совершенствования существующих технологических процессов, но и как самостоятельную методику для разработки технологии сортовой прокатки.

На базе данной методики разработана САПР калибровок простых сортовых профилей, отличающаяся большой универсальностью и гибкостью.

Основой методики является формула расчета уширения:

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

где S_0 – площадь входящего сечения; S_1 – площадь выходящего сечения; S_a – площадь фигуры ADEL (рис. 1); S_b – площадь фигуры BCFK (см. рис. 1); $K_2 = 2f \sin(\arctg(B_{cp}/L_{cp}))$; $K_3 = 2f \cos(\arctg(B_{cp}/L_{cp}))$; f – коэффициент трения; B_{cp} – средняя ширина контактной поверхности; L_{cp} – средняя длина контактной поверхности.

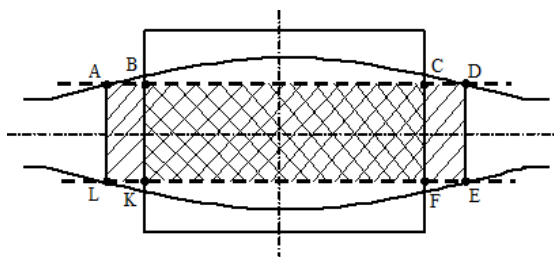


Рис. 1. Схема к формуле расчета показателей формоизменения при прокатке в калибрах

Как видно из выражения (1), в качестве показателя формы очага деформации используется отношение ширины очага деформации B_{cp} к его длине L_{cp} . Приведенное отношение используется и многими другими авторами в качестве показателя влияния формы контактной поверхности на формоизменение [3-5].

Данная методика прошла достаточно широкую апробацию в течение шести лет в калибровочном бюро Магнитогорского металлургического комбината. На ее основе были разработаны и успешно внедрены в производство калибровки ряда профилей. Опыт использования методики показал, что она дает достаточно точные значения коэффициента вытяжки при расчете формоизменения металла в калибрах, но в случае прокатки широких полос наблюдались заметные отклонения от практических данных.

Нами были проведены сравнения расчетных значений коэффициента вытяжки с экспериментальными данными при прокатке на гладких валках, полученных на сортовых станах 250, 370 и 450 Магнитогорского металлургического комбината. Всего было проанализировано около 300 очагов деформации с отношением L_{cp}/H_{cp} от 0,10 до 3,25 и отношением L_{cp}/B_{cp} от 0,10 до 0,87. Наиболее близкие к экспериментальным значениям коэффициента вытяжки формула (1) дает при L_{cp}/H_{cp} от 0,40 до 1,00 и L_{cp}/B_{cp} от 0,15 до 0,30. Для очагов деформации другой формы растет различие расчетных и экспериментальных данных. Ошибка расчета становится тем большей, чем больше будет неравномерность формоизменения металла (прокатка высоких полос, влияние жестких концов, большие углы контакта металла с валком и т. д.), так как многие параметры являются усредненными для всего очага деформации. Средняя относительная погрешность расчета для всего исследуемого диапазона форм очагов деформации составила 4,2%, при этом для крайних отношений L_{cp}/B_{cp} отклонение доходило до 10%.

Проведенный анализ показал, что величина получаемой погрешности расчета тесно связана с формой очага деформации. Поэтому для расширения области применения методики расчета формоизменения при сортовой прокатке было предложено ввести поправочный коэффициент n для определения K_2 и K_3 :

$$K_2 = n * 2 * f * \sin \left(\arctg \frac{B_{cp}}{L_{cp}} \right); \quad (2)$$

$$K_3 = n * 2 * f * \cos \left(\arctg \frac{B_{cp}}{L_{cp}} \right). \quad (3)$$

Поправочный коэффициент вычислен с использованием метода оптимизации, реализованного в виде алгоритма «Поиск решения» в среде MS Excel. Критерием оптимальности была выбрана минимальная суммарная среднеквадратичная погрешность расчета.

$$n = 2,4 \left(\frac{L_{cp}}{B_{cp}} \right)^2 - 2,8 \frac{L_{cp}}{B_{cp}} + 0,13 \frac{L_{cp}}{H_{cp}} + 1,72. \quad (4)$$

Для определения поправочного коэффициента была получена зависимость на основе множественного регрессионного анализа экспериментальных данных.

Графически эта зависимость представлена на рис. 2.

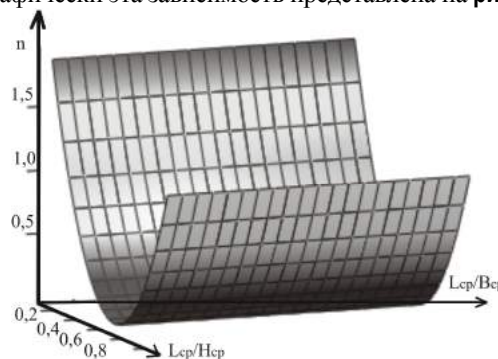


Рис. 2. Зависимость поправочного коэффициента от характеристик формы очага деформации

Как видно из графика, наиболее сильное влияние на поправочный коэффициент оказывает фактор формы L_{cp}/H_{cp} , который не учитывался в методике расчета формоизменения, но имеет существенное значение. Параболический вид зависимости можно объяснить тем, что чем тоньше полоса, тем наиболее сильно проявляется тормозящее действие сил трения в очаге деформации. Тогда как для относительно толстых полос силы трения не оказывают заметного действия, а главную роль в формировании напряженного состояния играют неконтактные зоны, подпирающее действие которых усиливается с увеличением толщины полосы [6].

Введение поправочного коэффициента позволило снизить среднюю относительную погрешность расчета коэффициента вытяжки при сортовой прокатке как на гладких валках, так и в калибрах до 2%, при этом максимальная погрешность не превышает 3%.

Таким образом, более точный учет формы очага деформации позволяет расширить область применения методики определения формоизменения металла практически на весь сортамент простых сортовых профилей.

Список литературы

1. Кинзин Д.И. Совершенствование и проектирование калибровок простых сортовых профилей на основе анализа показателей формоизменения и энергосиловых параметров: дис.... канд. техн. наук. Магнитогорск, 2003. 107 с.
2. Совершенствование методики определения показателей формоизменения металла для управления качеством профилей при прокатке в калибрах / Кинзин Д.И., Левандовский С.А., Наливайко А.В., Завья-

- лов К.А. // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2009. №4. С. 54–56.
- Березкин В. Г. Формоизменение при обработке металлов давлением. М.: Машиностроение, 1973. 152 с.
 - Грудев А. П., Машкин Л. Ф., Ханин М. И. Технология прокатного производства. М.: Арт-Бизнес-Центр, Металлургия, 1994. 656 с.
 - Коновалов Ю. В., Налча Г. И., Савранский К. Н. Справочник прокатчика. М.: Металлургия, 1977. 312 с.
 - Грудев А. П. Теория прокатки. М.: Металлургия, 1988. 240 с.

Bibliography

- Kinzin D. I. Improvement and Projecting of Simple Rolling Shapes' Pass Design Basing on Form-change and Power-energy Parameters' Analysis.

- Dis. ... tech. sc. cand. Magnitogorsk, 2003. 107 p.
- Kinzin D. I., Levandovsky S. A., Nalivayko A. V., Zavyalov K. A. Enhancing of Methodology of Metal Form-change Indicators' Determination for Shape Quality Control in Roll Pass Design. Bulletin of MSTU named after G. I. Nosov. #4, 2009, p. 54-56.
- Berezkin V. G. Form-changing in Metal Forming. Moscow. Mashinostroyeniye, 1973, 152 p.
- Grudev A. P., Mashkin L. F., Khanin M. I. Technology of Roll Industry. Moscow. Art-Biznes-Tsentr, Metallurgia, 1994, 656 p.
- Konovalev Y. V., Nalcha G. I., Savransky K. N. Roller's Manual. Moscow. Metallurgia, 1977, 312 p.
- Grudev A. P. Theory of Rolling. – Moscow. Metallurgia, 1988. 240 p.

УДК 621.771.06-589.4

Раскатов Е.Ю., Лехов О.С.

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ КАЛИБРОВКИ ВАЛКОВ ПИЛИГРИМОВЫХ СТАНОВ

Одним из путей совершенствования процесса пилигримовой прокатки бесшовных труб, особенно из непрерывнолитых заготовок круглого сечения, является обоснованный выбор рациональной калибровки валков пилигримовых станов. Известно, что калибровка пилигримовых валков определяет производительность стана, нагруженность рабочей клетки и линии привода, расход электроэнергии и качество прокатываемых труб.

Проведен анализ трех вариантов калибровок валков, выбранных с учетом эксплуатации пилигримовых станов. На **рис. 1** показан валок пилигримового стана, где Θ_B , Θ_P , Θ_V и Θ_X – соответственно центральные углы бойкового участка (гребня), полирующего участка, выпуска и холостого участка валка. Рассматриваемые калибровки пилигримовых валков приведены в **табл. 1**.



Рис. 1. Вид пилигримового валка

При этом важно оценить силовые параметры процесса пилигримовой прокатки для трех калибровок валков, поскольку увеличение давления металла на валки приводит к перегрузке рабочей клетки и линии привода, повышенному износу валков, особенно при прокатке тонкостенных труб, и ухудшению их качества.

Таблица 1

Центральные углы участков поперечного сечения валка, град			
Бойковый	Полирующий	Выпуск	Холостой
105	70	45	140
110	65	45	140
120	55	45	140

Моделирование пилигримовой прокатки труб выполнялось с использованием программного продукта ANSYS v10.0 [1]. Расчет выполнялся методом конечных элементов в объемной постановке. Упор сделан на определении напряженно-деформированного состояния на первом участке, где бойковой частью осуществляется обжатие гильзы, и полирующем участке, на котором деформируется объем металла, смещенного на первом участке. Это связано с тем, что от соотношения центральных углов бойковой и полирующей частей бойка в значительной мере зависит эффективность калибровки пилигримовых валков и качество бесшовных труб. Для материала трубы принята упругопластическая модель Прандтля-Рейса. Сопротивление деформации зависит от степени и скорости деформации, а также от температуры прокатываемого металла. Рассматривался процесс пилигримовой прокатки трубы из стали 14ХГС диаметром 325 мм из гильзы диаметром 500 мм, причем диаметр дорна составлял 300 мм. Скорость вращения валков – 45 об/мин. Величина подачи для каждой калибровки валков – 10, 20 и 30 мм. Температура прокатываемого металла гильзы принята постоянной и равной 1050°C.

На **рис. 2** и **3** приведены расчетные графики изменения усилий и моментов пилигримовой прокатки в зависимости от угла поворота валков соответственно для подач 10 и 20 мм. Наибольшие величины усилий и моментов прокатки возникают при калибровке валков 120-55-45-140. Например, при подаче 20 мм усилие прокатки равно 16800 кН, при других калибровках валков усилие прокатки значительно меньше и не превышает 13000 кН.

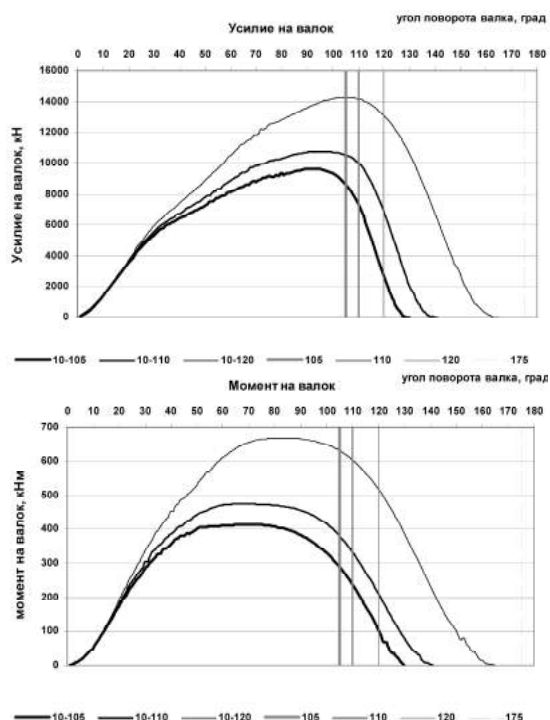


Рис. 2. Изменение усилий и моментов на валок.
Подача 10 мм

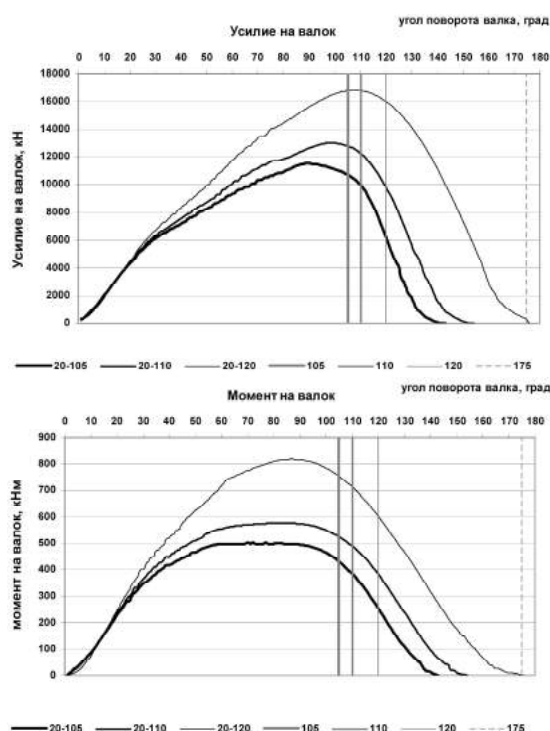


Рис. 3. Изменение усилий и моментов на валок.
Подача 20 мм

Для оценки калибровок пилигримовых валков очень важно оценить закономерности распределения максимальных растягивающих напряжений как вдоль очага деформации, так и по периметру трубы, которые являются основной причиной образования дефектов (рванин). В результате анализа результатов выясни-

лось, что для всех вариантов расчета максимальные растягивающие тангенциальные SY и продольные SZ напряжения возникают в конце участка завершения прокатки. Эпюры этих напряжений для поперечного сечения очага деформации для трех калибровок валков приведены на рис. 4–6. Величина подачи равна 10 мм. Для всех калибровок валков характерно неравномерное распределение тангенциальных и продольных напряжений по периметру очага деформации, которые из сжимающих на большей части периметра трубы переходят в растягивающие в зоне контакта гильзы с дном калибра. Для калибровок 105-70-45-140 и 110-65-45-140 уровень напряжений, как сжимающих, так и растягивающих, отличается незначительно. Для этих калибровок величина максимальных тангенциальных сжимающих и растягивающих напряжений соответственно равны 447–551 и 51–83 МПа. Величина максимальных продольных сжимающих напряжений равна 416–467 МПа, то есть незначительно отличаются от максимальных тангенциальных сжимающих напряжений. Однако по сравнению с максимальными тангенциальными растягивающими напряжениями (см. рис. 4 и 5) уровень максимальных продольных растягивающих напряжений возрастает и достигает 210–228 МПа в зоне контакта гильзы с дном калибра. Однако в сравнении с рассмотренными калибровками пилигримовых валков при калибровке валков 120-55-45-140 уровень максимальных тангенциальных и продольных напряжений существенно выше (рис. 6). Так, величина тангенциальных и сжимающих напряжений возрастает до 679 МПа, а растягивающих напряжений – до 68 МПа. Особенно резко возрастает уровень продольных растягивающих напряжений, достигающий величины 254 МПа в зоне контакта заготовки с дном калибра пилигримового вала.

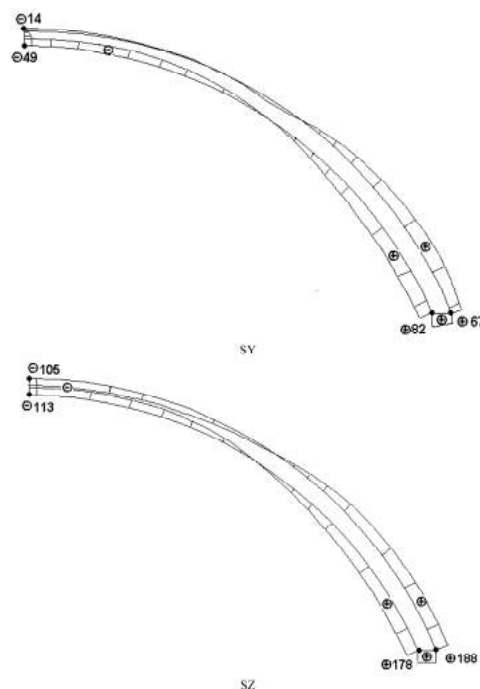


Рис. 4. Эпюры в поперечном сечении, в котором возникают максимальные растягивающие напряжения SY и SZ. Подача 10 мм. Калибровка 105-70-45-140.
Угол поворота вала – 118 град

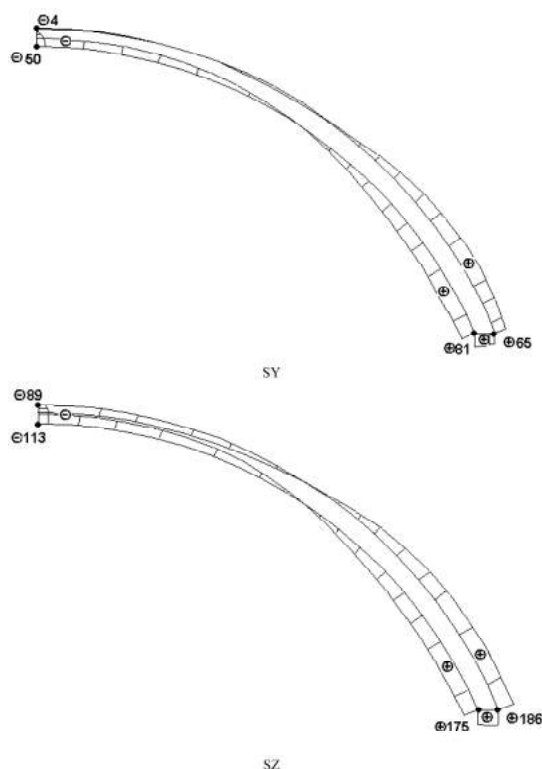


Рис. 5. Эпюры в поперечном сечении, в котором возникают максимальные растягивающие напряжения SY и SZ. Подача 10 мм. Калибровка 110-65-45-140. Угол поворота валка – 123 град

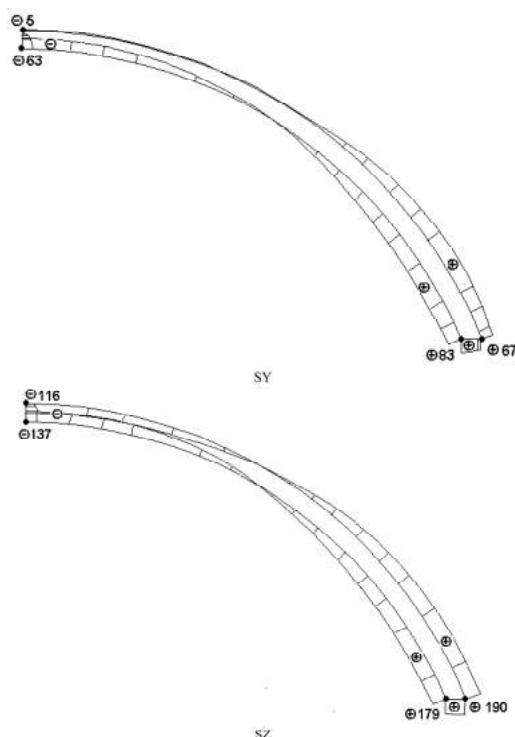


Рис. 6. Эпюры в поперечном сечении, в котором возникают максимальные растягивающие напряжения SY и SZ. Подача 10 мм. Калибровка 120-55-45-140. Угол поворота валка – 143 град

Также выполнены расчеты напряженно-деформированного состояния металла в очаге деформации пилигримовой прокатки для анализируемых калибровок валков при величине подачи гильзы в валки 20 мм. В сравнении с результатами расчетов при подаче 10 мм следует отметить, что на большей части периметра очага деформации металла характер распределения максимальных тангенциальных и продольных, как сжимающих, так и растягивающих, напряжений практически не изменился. Однако наблюдается существенное увеличение тангенциальных и продольных сжимающих напряжений в зонах выпуска калибра валков. Так, например, тангенциальные и продольные сжимающие напряжения для калибровки 105-70-45-140 соответственно возрастают с 338 до 510 МПа и с 139 до 307 МПа, для калибровки 110-65-45-140 – с 360 до 627 МПа и с 153 до 429 МПа, для калибровки 120-55-45-140 соответственно возрастают с 603 до 1001 МПа и с 401 до 790 МПа.

В табл. 2 представлены максимальные значения усилий и моментов пилигримовой прокатки и тангенциальных SY, и продольных SZ напряжений в зоне контакта гильзы с валком в зависимости от величины подачи гильзы в валки для трех калибровок валков.

Таблица 2

Параметр		Калибровка пилигримовых валков		
		105-70-45-140	110-65-45-140	120-55-45-140
Подача 10 мм	P, кН	9600	10700	14400
	M, кН·м	415	475	670
	Sy _{раст} , МПа	58	83	68
	Sy _{сж} , МПа	-477	-551	-679
	Sz _{раст} , МПа	210	228	254
	Sz _{сж} , МПа	-416	-467	-607
Подача 20 мм	P, кН	11500	13000	15000
	M, кН·м	500	580	820
	Sy _{раст} , МПа	68	84	98
	Sy _{сж} , МПа	-510	-627	-1001
	Sz _{раст} , МПа	212	230	259
	Sz _{сж} , МПа	-367	-429	-790
Подача 30 мм	P, кН	13600	15100	19100
	M, кН·м	610	700	980
	Sy _{раст} , МПа	70	84	99
	Sy _{сж} , МПа	-774	-854	-1278
	Sz _{раст} , МПа	215	233	263
	Sz _{сж} , МПа	-565	-649	-1067

Проведенный анализ трех калибровок валков с позиции нагруженности механического оборудования и привода пилигримового стана, уровня и характера распределения напряжений в очаге деформации при получении бесшовных труб позволил сделать вывод о том, что наибольшие значения усилий и моментов прокатки имеют место при калибровке валков 120-55-45-140. Это приводит к перегрузке привода стана, чрезмерному износу калибров валков, особенно при прокатке тонкостенных труб, и ухудшению их качества [2]. Кроме того, при этой калибровке пилигримовых вал-

ков существенно возрастает неравномерность распределения тангенциальных и продольных напряжений как вдоль очага деформации металла, так и по периметру трубы. Особенно резко возрастает уровень растягивающих напряжений в зонах контакта гильзы с дном калибра и выпусков калибров. Все это в совокупности может привести к образованию рванин на поверхности трубы. В отличие от калибровки 120-55-45-140, при использовании калибровок 105-70-45-140 и 110-65-45-140 наблюдается более благоприятная схема напряженного состояния металла в очаге деформации, что позволит улучшить качество бесшовных труб и условия эксплуатации пилигримового стана.

Заключение

На основании теоретического исследования силовых параметров и напряжений в очаге деформации гильзы при пилигримовой прокатке для трех калибровок валков определена рациональная калибровка валков пилигримовых станов.

Список литературы

1. ANSYS. Structural Analysis Guide. URL: <http://www.cadferm.ru>
2. Технология трубного производства / В.Н. Данченко, А.П. Коликов, Б.А. Романцев, С.В. Самусев. М.: Интермет Инжиниринг, 2002. 640 с.

Bibliography

1. ANSYS. Structural Analysis Guide. URL: <http://www.cadferm.ru>
 2. The technology of pipe production / Danchenko V., Kolikov A., Romancev B., Samusev S. M.: Internet Engineering, 2002.
-

ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

УДК 621.771

Платов С.И., Терских Д.С.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ АРМАТУРНОЙ ПРОВОЛОКИ ПУТЕМ ОТПУСКА ПОД НАТЯЖЕНИЕМ

Важнейшим свойством арматурных элементов, напрягаемых бетон, является их длительная прочность. В результате напряженного состояния стальной проволоки в железобетонных конструкциях в течение ряда лет происходит снижение усилия натяжения вследствие перехода некоторой доли упругой деформации в пластическую. Происходит процесс, именуемый релаксацией напряжений. Так, в холоднотянутой проволоке снижение усилия исходной нагрузки $0,7 \sigma_b$ (σ_b -техническая прочность) после 1000 ч при 20°C составляет 9–11%, что практически недопустимо для армирования бетона. Для снятия остаточных макро-напряжений от волочения и повышения структурной стабилизации до настоящего времени используется дополнительный отпуск проволоки в расплавах солей или свинца при $380\text{--}400^\circ\text{C}$ на проходных агрегатах. Релаксация напряжений в результате снижается до 5–8%. Однако этот процесс уходит в прошлое. В настоящее время все шире используется отпуск под натяжением, после которого релаксация напряжений составляет 1–3%. Одновременно при этом повышается предел текучести до значений $\sigma_{0,2} \geq 0,9 \sigma_b$, что позволяет применять более высокие натяжения и экономить металл в объеме от 7 до 12% [1,2].

На Белоречком металлургическом комбинате в плане технического развития запущена линия отпуска под натяжением итальянской фирмы «GCR». Принципиальная схема линии показана на рис. 1. Натяже-

ние создается кабестаном с 2-мя парами вытяжных барабанов диаметрами по 3 м за счет их разности скоростей от электропривода. Нагрев осуществляется в индукционной печи, расположенной между ними.

Установка обеспечивает плавную регулировку скорости обработки до 400 м/мин с сохранением заданных температуры нагрева и усилия натяжения. При этом устраняются экологические проблемы, связанные с очисткой промывных вод, присущих устаревшим агрегатам отпуска в расплавах солей. За счет действия противонапряжения достаточно просто решается вопрос с прямолинейностью арматурной проволоки как одного из требований стандартов.

С учетом требований заказчика режим натяжения можно создавать как в варианте обычного отпуска при низких натяжениях ($0,2\text{--}0,3 \sigma_b$), так и в варианте стабилизации при высоких натяжениях, порядка ($0,35\text{--}0,6 \sigma_b$).

На примере обработки арматурной круглой (не профилированной) проволоки диаметром 5 мм в табл. 1 и 2 показано изменение свойств при различных температурах и натяжениях. Проволока изготавливалась путем волочения (на прямоточном стане) сорбитизированной катанки диаметром 9 мм с использованием углеродистой стали с 0,82% С и 0,7% Мп. Проволока имела средние значения: $\sigma_b=1780 \text{ Н/мм}^2$, удлинение на базе 100 мм, $\delta_{100}=5,6\%$.

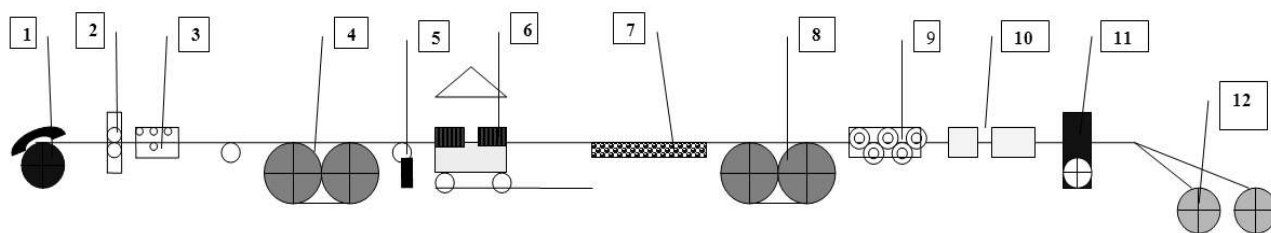


Рис. 1. Схема линии стабилизации арматурной проволоки диаметрами 4–8 мм фирмы «GCR»:

1 – размоточное устройство с диаметром фланца 1400 мм (емкость 5 т); 2 – турецкая головка для профилирования по ГОСТ 7348-81 и EN-10138; 3 – рихтовальное устройство с роликами в 4-х плоскостях (9+9+9+9); 4 и 8 – кабестан с 2-мя парами барабанов диаметрами 3 м с электроприводом 325 кВт; 5 – колесо-датчик нагрузки на привод кабестана; 6 – подвижная индукционная печь из 2-х секций (частота 6–8 кГц), мощность 450 кВт; 7 – устройство для охлаждения водой и сушки воздухом; 9 – вытяжное устройство с 3-мя парами обрезиненных роликов; 10 – устройство для нанесения антикоррозионных покрытий; 11 – летучие ножницы; 12 – намоточное устройство непрерывного сема проволоки в моток весом до 2,5 т

Таблица 1

Изменение свойств проволоки диаметром 5 мм
от температуры нагрева на линии отпуска
под натяжением (при 1100 кг)

Температура, °С	$\sigma_{\text{ср}}$, Н/мм ²	$\Delta \sigma_{\text{в}}$, Н/мм ²	δ_{100} , %
20	1780	0	5,6
370	1886	106	4,8
380	1865	85	5,0
400	1811	31	5,4
420	1765	-15	5,2

Из приведенных данных видно (см. табл. 1), что прочность проволоки за счет протекания процесса старения при нагреве до 370 °С возрастает в среднем на 106 Н/мм², а при нагреве до 380 °С – на 85 Н/мм². При нагреве до 400–420 °С начинается процесс разупрочнения за счет развития диффузионных процессов отпуска. Следует отметить, что указанное изменение свойств происходит не зависимо от усилия натяжения. В то же время (см. табл. 2) от натяжения (P_n) заметно повышается отношение P_n/P_v ($P_{0,2}$ – усилие предела текучести). Предел текучести приближается к пределу прочности и при натяжениях порядка 35–40% он составляет $\sigma_{0,2} \geq 0,9 \sigma_v$. В качестве оптимального по опыту принимается $\sigma_{0,2} = (0,92–0,95) \sigma_v$.

Предел текучести является лишь косвенным показателем стабилизации. Основным является величина остаточной деформации при растяжении. В работе [3] на образцах показано, что оптимальное удлинение находится в пределах 1,0–2,5%. Это вполне согласуется с данными ф. «Comerzet» (1–3%) [1].

Таблица 2

Свойства в зависимости от натяжения (P_n) к
разрывному усилию (P_v) при нагреве до 380 °С

P_n , кг	P_n/P_v , %	D_f , мм	Δl , %	$P_{0,2}/P_v$, %	Прямолинейность (нет-да)
0	-	5,01	0	0,884	нет
500	14,5	5,00	0,4	0,892	нет
1100	32,3	4,99	0,8	0,915	да
1200	35,2	4,98	1,01	0,923	да
1400	41,3	4,96	2,0	0,942	да

Примечание. D_f – фактический диаметр (измерение многократно цифровым микрометром); Δl – расчетное остаточное удлинение по утонению диаметра.

На практике за оптимальную деформацию обычно принимается 2%. При остаточном растяжении более 3% $\sigma_{0,2} = (0,96–0,98) \sigma_v$ и падает удлинение ($\delta_{100} = 0–1,5\%$). Проволока охрупчивается и теряет пластические свойства. Вполне очевидно, что при деформациях менее 1% не происходит в полной мере снятие остаточных напряжений, возникающих при волочении.

О протекании процесса стабилизации свидетельствует диаграмма растяжения, представленная на рис. 2. Диаграмма записана на разрывном прессе «Inspekt - 500» ф. Hegewald & Peschke со скоростью 15 м/мин.

Площадка текучести свидетельствует, с одной стороны, о протекании старения на линии стабилизации, с

другой стороны, видно, что деформация происходит с большим равномерным удлинением вначале на площадке текучести вследствие безбарьерного скольжения и далее с малым упрочнением до разрушения.

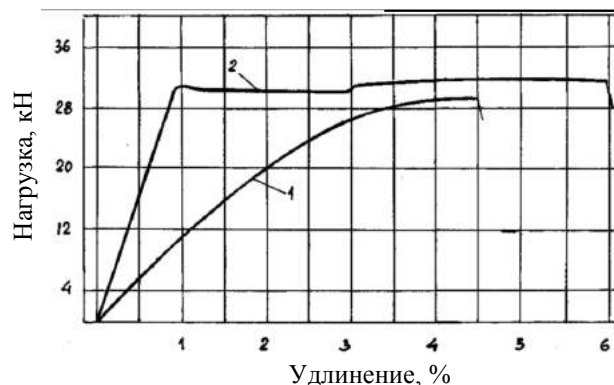


Рис. 2. Диаграмма растяжения круглой проволоки
диаметром 5 мм: 1 – холоднотянутой;
2 – стабилизированной

Схема изменения аналогична поведению отожженной стали. Это позволяет сделать вывод о снятии не только макронапряжений, но и снижении микронапряжений за счет, как показано в работе [4], образования упорядоченных дислокационных конфигураций в ферритной матрице.

В качестве оптимальной температуры принимается 380 °С, при более низких температурах сказывается отрицательное влияние эффекта старения на снижение пластических свойств [3], а при более высоких температурах возникают потери прочности материала (см. табл. 1).

Важно отметить, что при скоростном индукционном нагреве старение успевает пройти благодаря протеканию динамического деформационного старения, которое возникает при тепловой деформации [4]. В отличие от статического старения, которое происходит при комнатной или относительно низких температурах (100–200 °С) в течение большого времени, динамическое старение при 380–400 °С активировано, с одной стороны, большой интенсивностью генерирования свежих дислокаций от деформации растяжения, а, с другой стороны, увеличением подвижности примесей внедрения (С, N), динамично взаимодействующих с ними. Динамическое старение проходит кратковременно, за доли секунды, и обычно заканчивается образованием атмосфер или сегрегаций на дислокациях. При статическом старении этот процесс заканчивается образованием мелкодисперсных выделений на дислокациях, что вносит охрупчивающий эффект в изменении свойств [4].

Для масштабной оценки свойств после обработки на линии (в режиме отпуска при натяжении 1100 кг) в табл. 3 показаны средние результаты большой выборки данных. Видно, что прочность проволоки возрастает на 102 Н/мм² и находится на уровне 1789 Н/мм². При этом число гибов до разрушения по ГОСТ 1579-93 снижается с 11 до 7 ед., а удлинение (δ_{100}) практически сохраняется на высоком уровне – 5,8%. В результате при повышении прочности проволока имеет достаточно высокий уровень пластических свойств, что объясняется вышеуказанной спецификой динамического старения.

Таблица 3

Свойства круглой проволоки диаметром 5 мм после волочения и отпуска на линии стабилизации

Объем выборки	После волочения		После отпуска		
	σ_b , Н/мм ²	Число гибов	σ_b , Н/мм ²	δ_{100} , %	Число гибов
534	1687	11	1789	5,8	7

Основной объем арматурной проволоки для увеличения адгезии с бетоном производится в профилированном состоянии. На рис. 3 показан профиль с 2-сторонними вмятинами по отечественному стандарту ГОСТ 7348-81. В европейских странах по стандарту EN 10138 широко используется профиль с 3-сторонними вмятинами (рис. 4). В результате возникновения при профилировании сложного напряженного состояния натяжение проволоки с целью достижения прямолинейности и механических свойств аналогичных для круглой проволоки необходимо повышать по опыту на 10–15%.

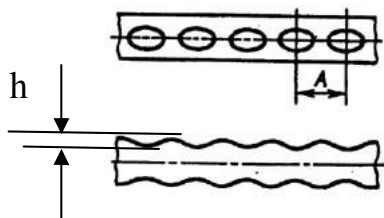


Рис. 3. Форма 2-стороннего профиля номинального диаметра 5 мм: глубина вмятин h не менее 0,24 мм, шаг $A=6,5$ мм

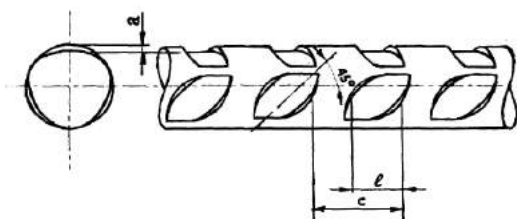


Рис. 4. Форма 3-стороннего профиля номинального диаметра 5 мм: $a=0,06-0,13$ мм, $l=3,5$ мм и $c=5,5$ мм

Из сравнения профилей видно, что если глубина вмятин от диаметра в 2-стороннем профиле составляет более 10%, то в 3-стороннем профиле она не превышает 3% при более однородной деформации. Сам характер «расплющивания» (при свободном уширении) в 2-стороннем профиле вносит более значительную неоднородность деформации. Поэтому все попытки внедрить режим стабилизации для этого профиля были безуспешны. Происходило растрескивание и частые обрывы проволоки (0,7–1,0 обр./т). При его использовании была внедрена технология изготовления проволоки по ГОСТ 7348-81 с применением только обычного отпуска, без требования по релаксационной стойкости: нагрев до 380°С, натяжение 0,2–0,3 от разрывного усилия.

При использовании 3-стороннего профиля обрывность в режиме стабилизации исчезает, что позволило организовать производство стабилизированной про-

волоки. К примеру, с учетом потребности внешнего рынка было освоено производство стабилизированной проволоки диаметром 5 мм по венгерскому стандарту MSZ 5720 с 3-сторонним профилем по EN 10138. В табл. 4 приведены свойства партии готовой проволоки.

Таблица 4

Свойства арматурной проволоки диаметром 5 мм по стандарту MSZ 5720 с 3-сторонним профилем

Показатели	σ_b , Н/мм ²	σ_1 , Н/мм ²	δ_{100} , %	Число гибов	Вмятины, мм	Вес, г/м
Норма	≥ 1770	≥ 1450	$\geq 3,5$	$\geq 4,0$	0,03–0,16 ($\pm 0,03$)	150,9–160,1
N	148	148	148	148	148	12
Мин.	1770	1620	4	4	0,06	152
Макс.	1910	1775	7	8	0,20	158
R	140	155	3	4	0,14	6
X_{cp}	1835	1717	5,8	5,1	0,11	154,6
S	28,3	27,2	0,72	0,98	0,02	1,87
Удовл. норм	0,99	1	1	1	0,99	0,98

Релаксация напряжений, замеренная на 2-х образцах, составила 1,5% (по норме не более 2,5%). Испытания проводились на приборе «Inspekt-400» при нагрузке $0,7\sigma_b$ по стандартной методике в течение 1000 ч.

Следует отметить, что при установке режима стабилизации необходимо учитывать вытяжку от профилирования, которая находится обычно в пределах 2,5–4,0% в зависимости от деформации глубины вмятин. Поэтому в расчет исходного диаметра (конечного после волочения) помимо увеличения диаметра на стабилизацию (2%) следует учитывать и удлинение при профилировании. Так, для вышеуказанного 3-стороннего профиля исходный диаметр равен $5,13 \pm 0,02$ мм или близок к нему. Конечный (номинальный) диаметр готовой профильной проволоки после стабилизации контролируется весом погонного метра и нормируется в стандартах (в частности, для диаметра 5 мм он равен 154 г/м).

Таким образом, исследованиями на промышленной установке отпуска под натяжением установлено, что оптимальная деформация растяжением для условий стабилизации должна быть $\approx 2\%$, а температура нагрева 380°С. При этом предел текучести (для контроля) $\sigma_{0,2} \geq 0,9 \sigma_b$.

Показано, что в результате протекания при обработке динамического деформационного старения в проволоке сохраняется высокий уровень пластических свойств при повышении прочности.

Из опыта работы отражено, что 2-сторонний профиль с глубокими вмятинами по отечественному стандарту ГОСТ 7348-81 из-за частых обрывов не пригоден для обработки в режиме стабилизации. Это необходимо учитывать в производственной практике. Изготовление стабилизированной проволоки достигается применением, в частности, 3-стороннего профиля по европейскому стандарту EN 10138.

Список литературы

1. Отчет по командировке советских специалистов в Англию / ВНИИМЕТИЗ. Магнитогорск, 1972.
2. Кулеша В.А. и др. Изготовление высококачественных метизов: монография. Белорецк, 1999. С. 106–116.
3. Терских Д.С. Некоторые вопросы стабилизации артурной проволоки // Сб. материалов науч.-техн. конференции. Белорецк, 2006. Вып. 2. С. 29–30.
4. Бабич В.К., Гуль Ю.П., Долженков И.Е. Деформационное старение стали. М.: Металлургия, 1977. 320 с.

Bibliography

1. Report on the mission of Soviet specialists in England. / VNIIMETIZ. Magnitogorsk, 1972.
2. Kulesza, V.A. etc. Making high-quality hardware // of collective monograph. Beloretsk, 1999. P. 106–116.
3. Tersikh D.S Some questions stabilization reinforcement wire.: Sat. Materials Science and Engineering Conference Bauman in Belorezk. 2006. issue 2. P. 29–30.
4. V.K Babich, J.P Hull, Dolzhenkov I.E Strain aging of steel. Moscow: Metallurgiya, 1977. 320.

УДК 621.733

Мезин И.Ю., Чукин В.В.

АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ФОРМИРОВАНИЯ СВОЙСТВ ИСХОДНОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЫСОКОПРОЧНОЙ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ ДЛЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛ*

Технологии производства железобетонных шпал (ЖБШ) нового поколения ориентированы на существенное сокращение металлоемкости конструкций, снижение трудоемкости и энергетических затрат за счет перехода к схемам укрупненного армирования. При таком армировании используются 4 армирующих стальных стержня диаметром до 10,0 мм вместо 44 проволок диаметром 3,0 мм, что предопределяет ужесточение требований к показателям качества арматурной стали [1].

Основными нормируемыми параметрами высокопрочной арматуры, как готового изделия, являются механические свойства, длительная прочность, уровень потерь напряжения от релаксации, стойкость к коррозионному растрескиванию, уровень сцепления с бетоном, а также геометрические параметры, определяющие конструктивные особенности профиля [2–6].

Требования по механическим свойствам готовой арматуры следующие:

- временное сопротивление разрыву должно быть не менее 1600 МПа;
- условный предел текучести должен быть не менее 1450 МПа;
- относительное удлинение при разрыве должно быть не менее 6,0%;
- количество знакопеременных изгибов на 90° на оправке диаметром 100 мм должно быть не менее 3 раз;
- модуль упругости арматурной стали должен быть не менее $2,0 \times 10^5$ Н/мм².

Основными вопросами, требующими решения при разработке технологии изготовления арматурной стали, является поиск способов, обеспечивающих получение необходимого периодического профиля на поверхности арматуры, а также разработка эффективных методов упрочнения металла для формирования регламентированного уровня его механических свойств [7].

Анализ способов формирования механических свойств высокоуглеродистой катанки диаметром более 15 мм для производства высокопрочной арматуры

Экономически и технически обоснованными технологическими вариантами достижения высокопрочного состояния арматуры являются: термомеханическое упрочнение в потоке прокатного стана при горячей прокатке, применение закалки с отпуском с отдельного нагрева, а также методы холодной пластической деформации. Наиболее перспективными на сегодняшний день являются технологии, основанные на деформационном упрочнении в сочетании с финишной механотермической обработкой конечного изделия. Общепринятая технология производства стальной высокопрочной арматуры периодического профиля диаметром 9,6 мм представлена в виде обобщенной технологической схемы на рис. 1. Требуемый уровень прочности изделия в этом случае достигается варьированием диаметра и прочностных характеристик исходной заготовки.

В соответствии с принятой последовательностью технологических операций, основным способом формирования необходимых прочностных характеристик исходной заготовки является процесс обработки катанки в потоке прокатного стана с использованием тепла нагрева металла под горячую прокатку. На получение требуемых свойств при таком упрочнении исходной заготовки существенное влияние оказывают следующие основные факторы: температурно-временные характеристики прокатки, термообработки и охлаждения; химический состав стали; диаметр прутка. Указанные факторы формируют параметры технологии упрочнения, которая для каждой конкретной марки стали определяет конечное структурное состояние, а следовательно, и ее механические свойства [8].

*Работа выполнена в рамках комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, выполняемого с участием российского высшего учебного заведения (договор 13.G25.31.0061).

Катанка	• Не допускаются закаты, расслоения, заусенцы, волосовины
Подготовка поверхности	• Травление: H_2SO_4 - 200÷100 г/л; $t = 70 \div 80^\circ C$; $\tau = 10 \div 40$ мин; • Промывка: H_2O; $P = 0,7 \div 1,0$ МПа; • Бурование: концентрация: 120 – 140 г/л; $t = 80 \div 90^\circ C$; $\tau = 8 \div 10$ с
Волочение	• $\varepsilon = 16 \div 23\%$
Профилирование	• Протяжка через неприводную роликую клеть
Финишная механотермическая обработка	• Пластическая деформация при $T = 370 \div 420^\circ C$;

Рис. 1. Обобщенная схема производства высокопрочной арматуры

Для производства высокопрочной арматуры традиционно применяют высокоуглеродистые марки стали с содержанием углерода более 0,8%, а также микролегированные углеродистые стали [9]. В качестве базовых для разработки и проектирования технологии производства высокопрочной стальной арматуры периодического профиля, по опыту ОАО «ММК-Метиз», приняты стали марок 80ХФЮ, 85ХФЮ, 85ФЮ. Выбор данных марок стали связан с особенностями механизмов упрочнения и возможностью получения структуры металла, способной к дальнейшему ее измельчению деформационными методами. Уровень прочностных свойств заготовок (σ_B) после горячей прокатки из указанных марок стали находится в диапазоне 1200 – 1300 МПа.

Однако дополнительное легирование углеродистых сталей существенно повышает стоимость исходного сырья, а следовательно, и цену конечной продукции. Поскольку указанные обстоятельства ухудшают эффективность и конкурентоспособность производства высокопрочной арматуры, то поиск технических и технологических решений для производства рассматриваемой продукции с использованием простых углеродистых марок стали без их дополнительного легирования представляется актуальной задачей.

К недостаткам технологии термомеханического упрочнения стали с прокатного нагрева следует отнести производственные трудности в обеспечении надежности процессов изготовления арматурной стали требуемого уровня прочности и, как следствие, формирование недостаточной стабильности свойств получаемого проката.

Анализ микроструктуры, термомеханически упрочненной с прокатного нагрева катанки, показал, что полученный прокат, как правило, характеризуется неоднородностью структурного состояния металла как по длине бунта, так и в поперечном сечении проката. Такой результат структурообразования связан с несовершенством процессов нагрева и охлаждения металла

в производственных условиях прокатного передела. При этом может отсутствовать возможность проведения необходимого по параметрам водяного охлаждения металла, которое позволило бы произвести более равномерное охлаждение катанки по сечению. Дальнейшее охлаждение катанки в условиях отсутствия или недостаточной продувки воздухом также может приводить к неравномерному температурному полю как по сечению, так и по длине бунта катанки. Перечисленные выше факторы в конечном итоге и приводят к формированию неравномерности структурных составляющих по длине проката, что напрямую обуславливает значительный разброс прочностных и пластических свойств стали в одной партии поставляемого металла.

В подтверждение приведенных выводов следует в качестве примера привести экспериментальные данные пластических свойств катанки из стали марки 85ФЮ с применением технологии термомеханического упрочнения стали с прокатного нагрева. Указанные данные представлены на рис. 2.

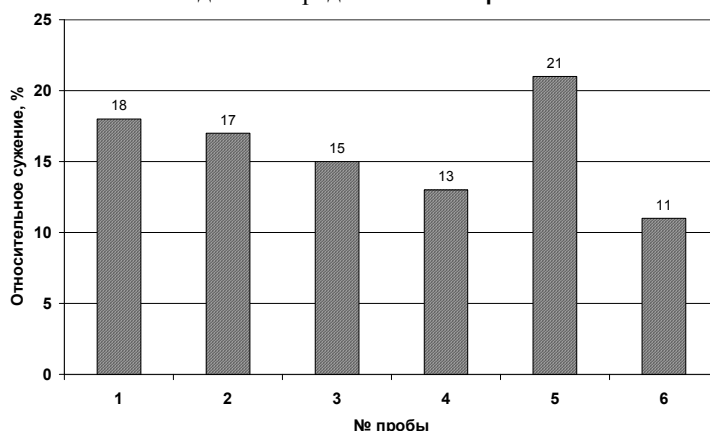


Рис. 2. Относительное сужение катанки из стали марки 85ФЮ, полученной с применением технологии ее термомеханического упрочнения с прокатного нагрева

Анализ показателей пластичности стальной заготовки по результатам оценки величины ее относительного сужения (см. рис. 2) показал, что значение этого параметра в пределах одного бунта может изменяться в достаточно широком интервале. Отклонение составляет порядка 90%. Исходя из приведенных данных следует, что получение термоупрочненной катанки со стабильными параметрами микроструктуры и механических свойств требует точного соблюдения технологии обработки прокатываемого металла, настройки линии водяного охлаждения и поддержания химических элементов в стали в узком интервале, что представляется довольно сложной производственной задачей. Следует также отметить, что отличительной особенностью технологических процессов с использованием заготовок больших диаметров является проявление масштабного эффекта, который характеризуется снижением прочностных и пластических характеристик изготавливаемой из них проволоки по сравнению с проволоочной продукцией, получаемой из заготовок меньшего размера.

Таким образом, принципиальным моментом в формировании стабильной технологии деформационного упрочнения и последующего передела при изго-

товлении высокопрочной стабилизированной арматуры является обеспечение производства качественным подкатом с однородной структурой и заданным уровнем механических свойств.

Из практики сталепроволочного производства известно, что наиболее благоприятным для последующего волочения является структура мелкодисперсной феррито-цементитной смеси с межпластинчатым состоянием, соответствующим параметрам сорбита. Получение такой структуры в условиях прокатного передела возможно при контролируемом охлаждении катанки в витках по методу Стелмора в основном на тонких диаметрах проката. В катанке толстых диаметров с учетом масштабного фактора получение качественных сорбитизированных структур в условиях прокатного передела затруднительно. Однако, несмотря на эти трудности и недостатки, все же в настоящее время для изготовления метизной продукции различного назначения, включая и арматуру, из заготовок больших диаметров, в основном, используется катанка, структура которой сформирована в условиях прокатного передела. Это происходит в основном из-за того, что процессы патентирования стальных заготовок больших диаметров отечественными метизными заводами практически не освоены. Несмотря на то, что технологии и оборудование подготовки структуры металла на стадии прокатного передела постоянно развиваются, совершенствуются и ориентированы на получение структуры, эквивалентной патентированию, тем не менее, качество микроструктуры и уровень свойств стали, сформированной в прокатном производстве, уступают качеству патентированной стали. Об этом свидетельствуют данные, представленные фирмами «MFL» и «Continuus Properzi Spa» для круглой углеродистой стали (рис. 3).

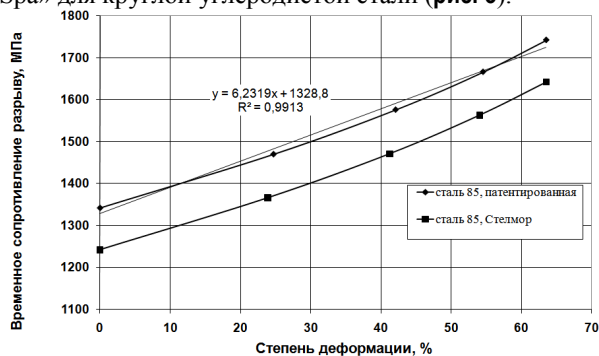


Рис. 3. Изменение временного сопротивления разрыву проволоки из стали 85 на переходах волочения подката, обработанного различными методами (по данным фирм «MFL» и «Continuus Properzi Spa»)

Как следует из представленных данных, обе фирмы четко разграничивают состояние исходного металла. Во всех случаях заготовка, обработанная по методу Стелмора, в исходном состоянии по прочностным свойствам уступает заготовке, подвергнутой патентированию, что предопределяет в конечном итоге более низкий уровень прочности проволоки, протянутой из такой заготовки.

Особенности структурного состояния анализируемых методов подготовки исходной стали отражается на динамике изменения характеристик пластичности

металла в процессе деформации и конечном уровне этих свойств в изделиях.

На рис. 4 приведена зависимость пластических свойств подката Ø10 мм из стали марок 85ФЮ и С85CrV от степени деформации при волочении. Сталь 85ФЮ обработана по методу Стелмора в условиях отечественного металлургического предприятия, а структурное состояние стали С85CrV итальянского производства соответствует структуре металла после патентирования. Из указанного рисунка видно, что изменение характеристик пластичности проволоки из стали 85ФЮ в пределах маршрута волочения носит более спонтанный характер, по сравнению со сталью С85CrV. Судя по величине относительного сужения, проволока, изготовленная из стали С85CrV, на конечном и промежуточных диаметрах обладает более высоким запасом пластичности.

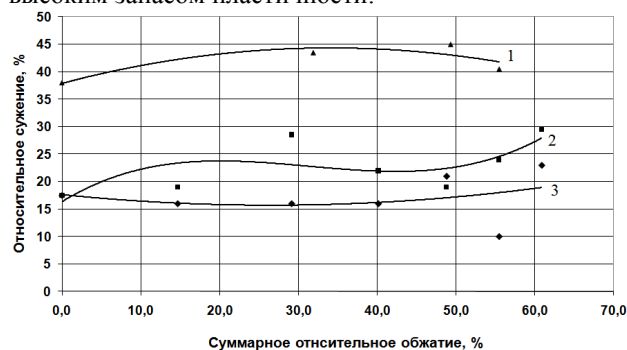


Рис. 4. Зависимость относительного сужения стальных заготовок от их относительного обжатия при волочении: 1- сталь С85CrV; 2, 3 - сталь 85ФЮ

Учитывая отмеченные выше недостатки технологического процесса производства высокопрочной арматуры, схема которого изображена на рис. 1, в рамках настоящей работы проведено его совершенствование. Для достижения высокопрочного состояния и специальных свойств арматуры диаметром 9,6 мм в технологический процесс ее производства целесообразно ввести предварительную термическую обработку металла по типу патентирования. Указанная обработка исходной стали должны преследовать следующие цели: формирование оптимальных микроструктуры и комплекса механических свойств для последующей переработки металла; выравнивание сформированной в прокатном переделе неравномерности структуры и свойств исходного металла как по длине бунта, так и по его сечению; обеспечение возможности перехода от легированных сталей (например, сталь 85ФЮ) к углеродистым (сталь 75-85) в производстве высокопрочной арматуры.

В большинстве случаев процессы патентирования организуются по принципу непрерывного потока при движении проволоки развернутой нитью через систему агрегатов, обеспечивающих совмещение операций термической обработки и подготовки поверхности металла. Патентирование в нитку в мировой практике проводится, как правило, только для заготовок диаметром до 10–12,5 мм. С увеличением толщины подката патентирование на непрерывных агрегатах становится затруднительным из-за увеличения жесткости металла. В связи с этим разработаны способы патенти-

рования катанки толстых сечений с диаметром прутка 10–25 мм в бунтах [10]. Такие способы, однако, не получили широкого развития из-за чрезмерного окиснообразования, трудностей травления, а также по причине большой структурной неоднородности металла, растущей при увеличении массы бунтов.

Принципиальным моментом в вопросах осуществления такой термической обработки является выбор среды для охлаждения проволоки. В практике отечественных заводов закрепилось патентирование в одной ванне с использованием расплавов солей. Вопросы экономики, связанные с большим расходом солей, а также загрязнение окружающей среды нитратами при этом остаются на втором плане.

По своей охлаждающей способности расплавы солей существенно уступают свинцу [11]. Обработка в свинце, благодаря высокой скорости охлаждения и изотермичности распада аустенита, в состоянии обеспечивать повышенную структурную однородность металла и более высокий уровень механических свойств проволоки. Отмеченные преимущества расплавов свинца в состоянии проявлять себя тем эффективней, чем толще диаметр обрабатываемой с их применением проволоки.

Поскольку отечественные метизные заводы не имеют опыта патентирования заготовок диаметрами более 15 мм, в настоящей работе осуществлена наработка первоначальных исходных данных по предлагаемой обработке катанки из углеродистых сталей (0,7–0,85% С) диаметром более 15 мм в расплаве свинца.

Анализ режимов патентирования, используемых на большинстве метизных заводов России, показал, что достоверные и хорошо отработанные параметры процесса существуют в основном для катанки диаметром до 8 мм, изготовленной из углеродистой стали с содержанием углерода до 0,8%. Для работы с катанкой диаметром более 15 мм, изготовленной из стали с содержанием углерода 0,7–0,85%, необходимо определить варианты режимов, адаптированные к условиям ее переработки.

Прогнозирование режимов патентирования высокоуглеродистой катанки диаметром более 15 мм

Для решения указанной задачи выполнен статистический анализ режимов нагрева катанки и охлаждающей среды, наиболее часто встречающихся в производстве. Далее, на основе выполненного анализа построены прогнозные графики назначаемых режимов применительно к катанке диаметром до 17 мм, изготовленной из стали с относительно высоким содержанием углерода. Аппроксимация графических зависимостей прогнозируемых режимов термической обработки позволила получить уравнения для расчета температур нагрева охлаждающей среды и заготовки диаметром до 17 мм. Указанные формулы приведены в табл. 1.

С использованием полученных формул выполнен расчет ориентировочных режимов термообработки катанки из углеродистой стали диаметром до 17 мм. Указанные режимы приведены в табл. 2. Ожидаемые значения предела прочности на растяжение термообработан-

ной катанки из углеродистой стали, обработанной по прогнозируемым режимам, приведены в табл. 3.

Таблица 1

Статистические зависимости для расчета температур нагрева охлаждающей среды и катанки из углеродистой стали

Содержание углерода, %	Температура нагрева охлаждающей среды, °C	Температура нагрева катанки, °C
0,5	$t = 501,99d^{-0,0601}$	$T = 889,74d^{0,0242}$
0,6	$t = 513,14d^{-0,0497}$	$T = 878,01d^{0,0233}$
0,7	$t = 520,08d^{-0,0403}$	$T = 875,91d^{0,0211}$
0,8	$t = 530,07d^{-0,0395}$	$T = 865,88d^{0,0183}$
0,9	$t = 538,99d^{-0,0303}$	$T = 861,59d^{0,0153}$

Примечание. t – температура охлаждающей среды, °C; T – температура заготовки, °C; d – диаметр катанки, мм.

Аппроксимация данных, приведенных в табл. 3, позволила получить статистические зависимости для расчета предела прочности катанки из углеродистой стали диаметром до 18 мм после ее патентирования по расчетным режимам. Указанные зависимости приведены в табл. 4.

Анализ данных, представленных в табл. 2 и 3, показал, что наиболее приемлемым для условий предварительного этапа разработки технологии производства высокопрочной арматуры из углеродистых марок стали может служить режим, осуществляемый с нагревом катанки до 900–930°C и последующим охлаждением в расплаве свинца в температурном интервале 430–500°C.

Предлагаемый режим патентирования углеродистой проволоки соответствует условиям термической обработки, реализуемой с использованием традиционных видов термического оборудования. Однако при организации поточного производства термическая обработка катанки диаметром 15–16 мм, для устранения масштабного фактора, должна быть реализована на специализированных термических агрегатах, обеспечивающих повышенную интенсивность охлаждения заготовок указанных размеров на переходе в ванну изотермического распада за счет активной циркуляции охлаждающей среды с высокой теплоемкостью. Такая специфика производства может потребовать увеличения температуры ванны изотермического распада аустенита до температур, соответствующих таким диаметрам проволоки, при которых влияние масштабного фактора незначительно. Таким диаметром проволоки может быть величина, равная 1–2 мм. Для этих диаметров температура ванны должна находиться в пределах 520–550°C. Об этом свидетельствуют результаты предварительных исследований процессов патентирования на термических агрегатах с интенсивным перемешиванием расплавленных сред.

Таблица 2

Расчетные температуры нагрева охлаждающей среды и катанки из углеродистой стали, °С

Диаметр катанки, мм	Содержание углерода, %									
	0,5		0,6		0,7		0,8		0,9	
	ванна	катанка	ванна	катанка	ванна	катанка	ванна	катанка	ванна	катанка
9	440	938	460	924	476	917	486	901	504	891
10	437	941	458	926	474	920	484	903	503	892
11	435	943	455	928	472	921	482	905	501	894
12	432	945	454	930	471	923	481	906	500	895
13	430	947	452	932	469	925	479	907	499	896
14	428	948	450	934	468	926	478	909	498	897
15	427	950	449	935	466	927	476	910	497	898
16	425	951	447	937	465	929	475	911	496	899
17	423	953	446	938	464	930	474	912	495	900
18	422	954	444	939	463	931	473	913	494	901

Таблица 3

Ожидаемые значения предела прочности на растяжение термообработанной катанки из углеродистой стали, $\times 10$ МПа

Содержание углерода, %	Диаметр катанки, мм																	
	1,05	1,9	2,3	2,7	3,5	4,7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
0,4	98	94	92	91	89	86	81	81	80	79	79	78	78	77	77	76	76	
0,5	108	105	103	101	98	95	91	90	89	89	88	87	87	86	86	85	85	
0,6	118	116	114	112	110	105	99	100	99	98	97	96	96	95	94	94	93	
0,7	127	122	121	120	118	113	108	108	107	106	105	105	104	104	103	103	102	
0,8	135	132	131	130	127	125	120	120	119	119	118	118	117	117	116	116	115	

Таблица 4

Статистические зависимости для расчета предела прочности термообработанной катанки из углеродистой стали диаметром до 18 мм

Содержание углерода, %	Предел прочности на растяжение термообработанной катанки из углеродистой стали, МПа
0,4	$\sigma = 994,11 d^{-0,0942}$
0,5	$\sigma = 1099,5 d^{-0,0898}$
0,6	$\sigma = 1214,8 d^{-0,0906}$
0,7	$\sigma = 1287,7 d^{-0,0804}$
0,8	$\sigma = 1367,7 d^{-0,0591}$

Примечание. σ – предел прочности термообработанной заготовки из углеродистой стали, МПа; d – диаметр катанки, мм.

Заключение

В рамках представленной работы выполнен анализ вариантов формирования технологических процессов производства высокопрочной арматуры для железобетонных шпал, а также проведена наработка исходных данных по режимам патентирования катанки из углеродистых сталей (0,7–0,85% С) диаметром более 15 мм. Приведенные результаты могут быть полезными для проектирования новых технологий изготовления высокопрочной арматуры диаметром 9–10 мм из высокоуглеродистых марок стали.

Список литературы

- Лебедев В.Н. Опыт освоения производства высокопрочной стабилизированной арматуры для железобетонных шпал нового поколения // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова, 2010. № 2. С. 74–76.
- Сычков А.Б., Жигарев М.А., Перчаткин А.В. Технологические особенности производства арматурного проката широкого назначения. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. 499 с.
- Высокопрочная арматурная сталь / Кугушин А.А., Узлов И.Г., Калмыков В.В., Мадатян С.А., Ивченко А.В. М.: Металлургия, 1986. 272 с.
- Юхвевц И.А. Производство высокопрочной проволоочной арматуры. М.: Металлургия, 1973. 264 с.
- Фогель Л.М. Повышение свойств арматурной проволоки с четырехсторонним профилем на основе совершенствования режимов волочения и профилирования: дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск:

МГМИ, 1991. 138 с.

- Киреев Е.М. Совершенствование производства высокопрочной арматурной проволоки с целью повышения ее релаксационной стойкости: дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск: МГМИ, 1984. 146 с.
- Лебедев В.Н., Корчунов А.Г., Чукин М.В. Производство высокопрочной стабилизированной арматуры для железобетонных шпал нового поколения // Металлург. 2011. №1. С. 75–78.
- Производство метизов / Шахпазов Х.С., Недовизий И.Н., Орничев В.И. и др. М.: Металлургия, 1977. 392 с.
- Михайлов К.В. Задачи отечественной строительной науки в области арматуры и предварительно напряженных железобетонных конструкций // Бетон и железобетон. 2004. № 2. С. 3–5.
- Никифоров Б.А., Харитонов В.А., Киреев Е.М. Производство высокопрочной арматуры. Свердловск, 1982. 96 с.
- Потемкин К.Д. Термическая обработка и волочение высокопрочной проволоки. М.: Металлургияиздат, 1963. 120 с.

Bibliography

- Lebedev V.N. Launching the production of high-strength stabilized reinforcement for up-to-date ferroconcrete cross-ties // Vestnik Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov, 2010. № 2. P. 74–76.
- Sichkov A.B., Zhigarev M.A., Perchatkin A.V. The technological features of manufacture of reinforcing bar for wide function: Magnitogorsk: «MSTU», 2006. 499 p.
- The high-strength steel reinforcement / Kugushin A.A., Uzlov I.G., Kalmykov V.V., Madatyan S.A., Ivchenko A.V. M.: Metallurgy, 1986. 272 p.
- Yukhvets I.A. The manufacture high-strength wire reinforcement M.: «Metallurgy», 1973. 264 p.
- Fogel L.M. Heightening characteristics of reinforcing wire with quadripartite profiles on basis of enhancement conditions of drawing and contouring. Thesis of candidate of technical science. Magnitogorsk: MGMI, 1991. 138 p.
- Kireev E.M. Enhancement manufactures high-strength reinforcing wire for heightening its relaxation durability. Thesis of candidate of technical science. – Magnitogorsk: MGMI, 1984. 146 p.
- Lebedev V.N., Korchunov A.G., Chukin M.V. Manufacture of high-strength stabilized reinforcement for reinforced-concrete ties of new generation // Metallurgist, 2011. №1. P. 75–78.
- Manufacture of hardware / Shakhpafov Kh.S., Nedoviziy I.N., Orinichev V.I. and others // «Metallurgy», 1977. 392 p.
- Mikhaylov K.V. The tasks for native building science in domain of reinforcement and previously strained reinforced-concrete constructions // Concrete and reinforced concrete, 2004. № 2. P. 3–5.
- Manufacture of high-strength reinforcement. / B.A. Nikiforov, V.A. Kharitonov, E.M. Kireev. // Sverdlovsk: 1982. 96 p.
- Potemkin K.D. Thermal treatment and drawing high-strength wire. M.: Metallurgical State Publishing House, 1963. 120 p.

УДК 621.762.4.04:621.78.061

Белокопытов В.И.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ АНИЗОТРОПИИ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ИЗДЕЛИЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ ГРАНУЛ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРИВОДЯЩИХ К ЕЁ СНИЖЕНИЮ

Существующая технология переработки гранул алюминиевых сплавов предусматривает следующие операции: брикетирование гранул и прессование полученных брикетов в заготовки с последующей их прокаткой или штамповкой в изделия необходимого типоразмера. Основным недостатком такой технологической схемы является уменьшение выхода годного в результате обточки брикета, удаления прессостатка и концевой обрезки после прессования, а также многократный нагрев, ухудшающий механические свойства изделий. Поэтому актуальна разработка технологии производства изделий из гранулированных материалов с высоким уровнем механических свойств, исключающей промежуточное прессование и совмещающей операцию компактирования и штамповки [1].

Для внедрения данной технологии была разработана конструкция пресс-формы [2] для выдавливания полых изделий из гранул, схема которой представлена на **рисунке**. Одним из основных требований, предъявляемых к качеству подобных изделий, является снижение анизотропии механических свойств в их донной и боковой частях.

Оценку анизотропии прочностных свойств производили для изделий с размерами: толщина дна $h_2 = 6$ мм; внешний радиус $R_3 = 25$ мм; внутренний радиус $R_2 = 20, 21$ и 22 мм; радиус брикета $R_1 = 12,5$ мм; высота брикета $h_k = 64$ мм; высота свободно насыпанных гранул $h_0 = 116$ мм. Штамповку гранул сплава САС – 1 осуществляли с постоянной $V_0 = 0,5$ мм/с и переменной скоростью деформирования $V_0 = 0,5; 0,01$ и $0,1$ мм/с при температуре 500°C . Величину анизотропии прочностных свойств штампованных из гранул полуфабрикатов оценивали по отношению временного сопротивления разрыву образцов, вырезанных из стенок в осевом σ_v^0 и из дна изделия в радиальном σ_v^p направлениях.

При рассмотрении деформированного состояния в процессе выдавливания геометрический очаг деформации разбивали на пять характерных зон, показанных на **рисунке**. В нулевой зоне происходит компактирование гранул в брикет. Компоненты тензора скорости деформации материального эллипсоида для процесса брикетирования записывали в соответствии с [3] на основе реологических особенностей уплотняемой среды. Для определения компонент тензора скорости деформации в остальных зонах (за исключением зоны 4, в которой пластическая деформация отсутствует) поле скоростей формировали с учетом граничных условий и условия несжимаемости предварительно скомпактированного материала (**табл. 1**).

Используя полученные выражения, можно рассчитать деформированное состояние при любых параметрах очага деформации в процессе выдавливания

полых изделий из гранулированных материалов.

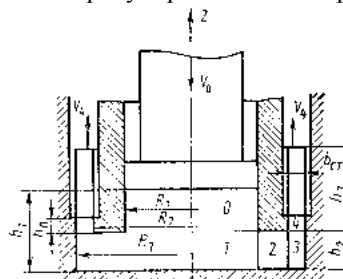


Схема выдавливания полых изделий из гранулированных материалов

Таблица 1

Компоненты тензора скорости деформации в характерных зонах очага деформации

Номер зоны	ξ_{rr}	$\xi_{\varphi\varphi}$	ξ_{zz}
0	$\frac{V_0}{3h}$	$\frac{V_0}{3h}$	$-\frac{2V_0}{3h}$
1	$\frac{V_0}{2h_2}$	$\frac{V_0}{2h_2}$	$-\frac{V_0}{h_2}$
2	$\frac{V_0 R_1^2}{h_2 R^2}$	$\frac{V_0 R_1^2}{h_2 R^2}$	0
3	$-\frac{V_0 R_1^2}{2h_2 (R_3^2 - R_2^2)} \left(\frac{R_3^2}{R^2} + 1 \right)$	$\frac{V_0 R_1^2}{2h_2 (R_3^2 - R_2^2)} \left(\frac{R_3^2}{R^2} - 1 \right)$	$\frac{V_0 R_1^2}{h_2 (R_3^2 - R_2^2)}$

Приложение. h – положение материальной частицы в момент начала движения по зоне 0 – ($h_k \leq h \leq h_0$); R – положение материальной частицы в момент начала движения по зонам 2 – ($R_1 \leq R \leq R_2$) и 3 – ($R_2 \leq R \leq R_3$).

Так как формирование анизотропии механических свойств изделий из гранул определяется особенностями обновления их контактной поверхности в процессе деформации и, следовательно, зависит от схемы деформированного состояния [4], были найдены компоненты тензора деформации в каждой из зон геометрического очага деформации. При этом использовалось одно из свойств рассматриваемого процесса штамповки, заключающееся в том, что главные оси сохраняют свои направления неизменными на всех этапах деформации. Поэтому для определения компонент тензора деформации U_{ij} (**табл. 2**) использовали уравнение [5] вида:

$$\ln U_{ij} = \int_0^t \xi_{ij} d\tau. \quad (1)$$

Поскольку конечная деформация возникает путем последовательного наложения промежуточных деформаций, тензор суммарной деформации можно представить в виде произведения

$$U_{ij}^\Sigma = U_{ij}^{(3)} \cdot U_{ij}^{(2)} \cdot U_{ij}^{(1)} \cdot U_{ij}^{(0)}. \quad (2)$$

Таблица 2
Компоненты тензора деформации в характерных зонах
очага деформации

Номер зоны	U_{rr}	$U_{\varphi\varphi}$	U_{zz}
0	$\left(\frac{h_0}{h_k}\right)^{1/3}$	$\left(\frac{h_0}{h_k}\right)^{1/3}$	$\left(\frac{h_0}{h_k}\right)^{2/3}$
1	$\frac{R_1}{R}$	$\frac{R_1}{R}$	$\frac{R^2}{R_1^2}$
2	$\frac{R_1}{R_2}$	$\frac{R_2}{R_1}$	1
3	$\frac{hR_2}{h_2\sqrt{R_3^2 - h(R_3^2 - R_2^2)/h_2}}$	$\frac{1}{R_2}\sqrt{R_3^2 - h(R_3^2 - R_2^2)/h_2}$	$\frac{h_2}{h}$

Приложение. h – положение материальной частицы в момент начала движения по зоне 3 – ($0 < h \leq h_2$); R – положение материальной частицы в момент начала движения по зоне 1 – ($0 < R \leq R_1$).

Задавшись значением $h = 0,5 h_2$ для центрального слоя и определив R из выражения находили компоненты суммарного тензора деформации для различных геометрических параметров очага деформации. Значения компонент использовались для аналитического определения величины неоднородности свойств штампованных из гранул изделий.

$$R = R_1 \sqrt{\frac{h}{h_2}}, \quad (3)$$

В табл. 3 представлены значения анизотропии прочностных свойств, полученные из эксперимента при постоянной $(\sigma_s^0/\sigma_s^p)_\varepsilon$ и переменной $(\sigma_s^0/\sigma_s^p)_\varepsilon^*$ скорости деформирования (оптимальной с точки зрения сверхпластической деформации сплава САС – 1 [6]) а также рассчитанные аналитически $(\sigma_s^0/\sigma_s^p)_T$ с применением алгоритма расчета анизотропии прочности схватывания гранул [4].

Таблица 3
Расчетные и экспериментальные значения анизотропии
прочностных свойств полых изделий

$B_{ст} = R_3 - R_2$, мм	$(\sigma_s^0/\sigma_s^p)_\varepsilon$	$(\sigma_s^0/\sigma_s^p)_\varepsilon^*$	$(\sigma_s^0/\sigma_s^p)_T$
5	0,75 – 0,80	0,90 – 0,94	0,75
4	0,77 – 0,84	0,92 – 0,95	0,78
3	0,82 – 0,87	0,94 – 0,98	0,82

Как видно из табл. 3, уменьшение толщины стенки изделия ($B_{ст}$) приводит к снижению анизотропии прочности схватывания гранул, так как при этом прочностные свойства увеличиваются в осевом и практически не изменяются в радиальном направлении. Причем значения анизотропии, рассчитанные аналитически, удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными, полученными при выдавливании с постоянной скоростью деформирования, не соответствующей скоростному интервалу сверхпластичности, и превосходят по величине значения, полученные при штамповке в состоянии сверхпластичности. Таким образом, сверхпластическая деформация гранулированного материала обеспечивает более качественное схватывание гранул и снижение анизотропии прочностных свойств изделий.

Отсутствие научно обоснованных деформационных режимов и перенос температурно-скоростных параметров процесса штамповки сплавов, полученных по тра-

диционной технологии, на гранулированные материалы является одной из причин, вызывающих появление неоднородности структуры, низкого уровня механических свойств и повышенной их анизотропии, что сдерживает широкое применение таких изделий в авиационной и машиностроительной промышленности. Повышению эффективности использования таких материалов в значительной мере может способствовать прогнозирование анизотропии их свойств и разработка технологических процессов, приводящих к ее снижению.

Авторами статей [4,7] с позиции образования металлургической связи между гранулами при их совместной пластической деформации был рассмотрен процесс формирования анизотропии прочностных свойств и создана методика для прогнозирования ее величины в прессованных изделиях. Кроме того, было показано, что применение плоской схемы прессования по сравнению с осесимметричной позволяет значительно уменьшить анизотропию, вызванную неоднородным схватыванием гранул, и получить практически одинаковые свойства в долевом и поперечном направлениях уже при коэффициенте вытяжки 8–10 единиц.

В настоящей работе предпринята попытка использования данной методики для расчета неоднородности свойств штампованных поковок и выбора формы поперечного сечения прессованной заготовки под штамповку.

В качестве заготовки использовали горячепрессованные с коэффициентом вытяжки 10 единиц профили круглого и прямоугольного поперечного сечения из гранул сплава 01969, относящегося к высокопрочным алюминиевым сплавам системы *Al-Zn-Mg-Cu*. Из прессованного профиля фрезерованием были получены заготовки под штамповку с поперечным сечением в виде равнобедренной трапеции. Брикетирование дегазированных гранул проводили при температуре 480–500°C. Полученные брикеты перед прессованием нагревали до температуры 460–480°C. Штамповку прессованных заготовок осуществляли при температуре 340–350°C.

Для оценки степени деформации сдвига, которой подвергается материал в процессе штамповки, и расчета поля тензора деформации в местах вырезки образцов использовали метод делительных сеток [8]. Делительную (координатную) сетку, состоящую из взаимно перпендикулярных линий, наносили на внутреннюю поверхность разрезанных вдоль оси симметрии заготовок с шагом 3 мм. Деформированную делительную сетку подвергали обмеру на инструментальном микроскопе БМИ-1Ц. При получении поковок фиксировали начальную $\varepsilon = 44\%$, промежуточную $\varepsilon = 67\%$ и конечную $\varepsilon = 86\%$ стадии деформирования.

Исследование степени деформации сдвига по высоте поковок в ее характерных сечениях показало значительную неравномерность деформации на всех стадиях процесса. Наибольшая неравномерность имеет место в крайнем сечении (торец поковки), что является следствием малой деформации средней части торца поковки и резкого увеличения степени деформации сдвига в верхней части при истечении металла в облой. Максимальное значение степени деформации сдвига отмечается в полотно и боковых стенках поковки (4 единицы и более), что несколько ниже критической степени деформации сдвига при испытаниях на кручение прессованной из гранул сплава 01969 заготовки круглого сече-

ния в продольном и выше, чем в поперечном направлении [9]. Поскольку оформление боковых стенок поковки происходит за счет деформации заготовки в поперечном направлении, то превышение степени деформации сдвига, соответствующей разрушению, может привести к появлению в гранулированном материале микроне-сплошностей в виде расслоений, что отрицательно ска-зывается на механических свойствах изделий. С этой точки зрения, более предпочтительным является исполь-зование в качестве заготовки прессованной полосы пря-моугольного сечения, так как для нее характерны высо-кие предельные степени деформации сдвига в попереч-ном направлении, достигающие 5,5 единиц при темпе-ратуре испытания 340 – 350°C и интенсивности скоро-стей деформации сдвига $5 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^{-1} \text{ с}^{-1}$. При этом прессованные полуфабрикаты прямоугольного попереч-ного сечения, полученные при плоской схеме прессова-ния, обладают пониженным уровнем анизотропии проч-ностных свойств.

Экспериментальную оценку анизотропии штам-пованных изделий осуществляли путем сравнения временного сопротивления разрыву нетермообрабо-танных образцов, вырезанных из донной части поков-ок, в продольном σ_{ϵ}^{np} и поперечном σ_{ϵ}^n направлени-ях, для трех степеней деформации исходных загото-вок. Результаты испытаний приведены в табл. 4.

Таблица 4

Значения временного сопротивления разрыву образцов, вырезанных из донной части поковок и анизотропии прочностных свойств штампованных изделий

Форма попе- речного сече- ния полуфаб- риката	Степень деформации ϵ , %	σ_{ϵ}^n , МПа	σ_{ϵ}^{np} , МПа	Анизотропия прочностных свойств σ_{ϵ}^n / σ_{ϵ}^{np}
Круг	44	286 ± 10	335 ± 8	0,80 – 0,91
	67	291 ± 7	335 ± 6	0,83 – 0,91
	86	300 ± 9	338 ± 5	0,85 – 0,93
Прямоугольник	44	316 ± 8	330 ± 7	0,91 – 1,00
	67	319 ± 7	333 ± 7	0,92 – 1,00
	86	321 ± 8	335 ± 6	0,92 – 1,00

Расчет компонент тензора деформации осуществля-ли по результатам обмера ячейки координатной сетки, находящейся в средней части дна поковки. Аналитиче-скую оценку анизотропии выполняли, используя алго-ритм решения задачи по определению анизотропии прочности схватывания гранул в процессе прессования [4, 7]. Результаты расчетов представлены в табл. 5.

Сравнение экспериментальных (см. табл. 4) и рас-четных (см. табл. 5) данных позволяет сделать вывод об их достаточно высокой сходимости, что открывает перспективу прогнозирования анизотропии прочност-ных свойств поковок, полученных из гранулирован-ных материалов.

Анализ экспериментальных данных (см. табл. 4) показывает, что увеличение степени деформации при штамповке приводит к возрастанию средних значений временного сопротивления разрыву образцов, выре-занных как в продольном, так и в поперечном направ-лении, однако, это повышение незначительно и почти не превышает доверительного интервала. Причем, применение в качестве заготовки под штамповку

прессованного полуфабриката с прямоугольным по-перечным сечением не только благоприятно сказыва-ется на уровне механических свойств поковок (осо-бенно в поперечном направлении), но и позволяет снизить анизотропию прочности схватывания гранул.

Таблица 5

Значения анизотропии прочностных свойств штампованных поковок

Форма поперечного сечения полуфабри- ката	Степень дефор- мации ϵ , %	Анизотропия проч- ностных свойств $\sigma_{\epsilon}^n / \sigma_{\epsilon}^{np}$
Круг	44	0,82
	67	0,85
	86	0,96
Прямоугольник	44	1,00
	67	1,00
	86	1,00

Список литературы

- Шепельский Н.В., Белокопытов В.И., Корнилов В.Н. Влияние геометриче-ских параметров пресс-формы и скорости деформирования при выдавли-вании на механические свойства полых изделий из порошка сплава САС-1 // Кузнечно-штамповочное производство. 1990. № 9. С. 13–15.
- А. с. 1109261 СССР, МКИ³ В 22 F 3/02, В 30 В 15/02. Пресс-форма / Н.В. Шепельский, В.И. Белокопытов, Н.А. Грищенко, В.В. Купоросов (СССР). – № 3596053/22 – 02; заявл. 27.05.83; опубл. 23.08.84, Бюл. №31.
- Суяров Д.И., Горбунов Ю.А. Физико-механические основы расчетов параметров пластической обработки металлов. Красноярск: Изд-во Красноярск. ун-та, 1984. 248 с.
- Корнилов В.Н., Штерензон А.М., Белокопытов В.И. Аналитическая оценка анизотропии временного сопротивления разрыву изделий из гранул, полученных прессованием // Технология легких сплавов. 1991. №1. С.29–32.
- Суяров Д.И. Механика пластической среды. Красноярск: Краснояр-ское кн. изд-во, 1976. 190 с.
- Условия проявления сверхпластичности прутков из гранул сплава САС-1 / Н.В. Шепельский, Н.А. Грищенко, Т.А. Орелкина, В.И. Белоко-пытов // Изв. вузов. Цветная металлургия. 1982. №4. С. 87–90.
- Шепельский Н.В., Корнилов В.Н., Белокопытов В.И. Аналитическое прогнозирование анизотропии сопротивления разрушению прессовок из сфе-рических порошков // Порошковая металлургия. 1990. №1. С. 62–65.
- Смирнов-Аляев Г.А., Чикидовский В.П. Экспериментальные методы в обработке металлов давлением. Л.: Машиностроение, 1972. 360 с.
- Оптимизация параметров штамповки гранулируемых алюминиевых сплавов на основе исследования их реологических характеристик / Н.В. Шепельский, А.М. Штерензон, В.И. Белокопытов и др. // Метал-лургия гранул. М.: ВИЛС, 1989. Вып. 5. С. 147 – 152.

Bibliography

- Shepelsky N.V., Belokopytov V.I., Kornilov V.N. The influence of geomet-ric parameters of mold and deformation velocity during extrusion on the mechanical properties of hollow articles made from alloy powder CAC-1 // Press-forging production, 1990, № 9, P. 13-15.
- Author's certificate 1109261 USSR, MКИ³ В 22 F 3/02, В 30 В 15/02. Mold / N.I. Shepelsky, V.I. Belokopytov, N.A. Grishenko, V.V. Kuporosov (USSR). - № 3596053/22 - 02; appl. 27.05.83, publ. 23.08.84, Bull. № 31.
- Suyarov D.I., Gorbunov U.A. Physical and mechanical basis of calculation for plastic metal processing. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk Univ. Publisher, 1982. 248.
- Kornilov V.N., Shterenzon A.M., Belokopytov V.I. Analytical estimation of anisotropy of the ultimate tensile strength of products made of pellets by pressing // Technology of Light Metal Alloys, 1991. № 1. P.29-32.
- Suyarov D.I. Mechanics of plastic continuum. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk book publisher, 1976. 190 p.
- Conditions for superplasticity of alloy rods made of pellets CAC-1 / N.V. Shepelsky, N.A. Grishenko, T.A. Orelkina, V.I. Belokopytov // Izv.vuzov. Non-Ferrous Metallurgy, 1982. № 4. P. 87-90.
- Shepelsky N.V., Kornilov V.N., Belokopytov V.I. Anisotropy prediction of fracture resistance of spherical powder compacts // Powder metallurgy, 1990. № 1. P. 62-65.
- Smirnov-Alyayev G.A., Chikidovskiy V.P. Experimental methods in metal forming. L. Mashinostroyeniye, 1972. 260.
- Optimization of stamping of pelletized aluminum alloys on the basis of their rheological characteristics / N.V. Shepelsky, A.M. Shterenzon, V.I. Belokopy-
tov and others // In. Granules metallurgy. M.: ВИЛС, 1989, issue 5. P.147-152.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ МЕТАЛЛА В ПРОЦЕССЕ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ РАВНОКАНАЛЬНЫМ УГЛОВЫМ ПРЕССОВАНИЕМ

Введение

Последние два десятилетия характеризуются активным развитием теории и технологии процессов интенсивной пластической деформации (ИПД), направленных на измельчение зерен в различных металлических материалах вплоть до десятков – сотен нанометров и формирования в них объемных наноструктурных состояний с привлекательными свойствами в получаемых полуфабрикатах и изделиях [1–6].

Процессы ИПД осуществляют при температурах ниже температуры рекристаллизации металла и сравнительно малых скоростях деформирования в основном на гидравлических прессах [7–10].

В процессах ИПД реализуется деформация заготовки сдвигом, когда она проходит через зону сопряжения каналов равного сечения, выполненных в специальной оснастке. Такая форма инструмента позволяет многократно деформировать заготовку и достигать сверхвысоких значений деформации ($\varepsilon_i \geq 8$), что является необходимым условием при формировании ультрамелкозернистой структуры материала.

Весьма актуальным вопросом при разработке процессов ИПД полуфабрикатов и последующего пластического формоизменения наноструктурных заготовок в операциях обработки металлов давлением (ОМД) является прогнозирование разрушения металла. Решение этого вопроса важно, поскольку накапливаемые в ходе ИПД деформации велики. При этом материал заготовки, исчерпав свою способность к деформированию, начинает разрушаться после, например, определенного числа проходов равноканального углового прессования (РКУП) [11–12] или при выполнении последующей операции ОМД.

Предельные деформации в процессах интенсивной пластической деформации (ИПД) ограничиваются вязким разрушением металла. Вязкое разрушение металла сопровождается развитием и увеличением количества микропор и микротрещин, относительный объем которых в единице объема металла характеризуется поврежденностью металла.

В отечественной и зарубежной литературе к настоящему времени опубликовано достаточно много моделей, с помощью которых можно оценивать поврежденность (повреждаемость или использованный ресурс пластичности) металла [13–25].

В практике расчетов в нашей стране наибольшее распространение получили методики оценки поврежденности металла – В. Л. Колмогорова [15], А. А. Богатова [26], за рубежом – Cockroft & Latham [22, 27–29], которая установлена в программном комплексе DEFORM 3D по умолчанию как основная методика прогнозирования разрушения металла при большой

пластической деформации. В работе [30] предложен алгоритм использования модели разрушения металла Cockroft & Latham [27], позволяющий учитывать, при расчете поврежденности металла, изменяющееся напряженное состояние материальной точки заготовки.

Цель данной работы – сравнение оценок поврежденности металла, полученных с использованием различных методик [26, 30], и установление их применимости для прогнозирования разрушения металла при равноканальном угловом прессовании цилиндрической заготовки.

Материал и методики исследования

В качестве объекта исследований использовали цилиндрическую заготовку диаметром 10 мм и длиной 70 мм из стали 15.

В процессе исследований выполняли компьютерное моделирование процесса углового прессования цилиндрической заготовки с использованием программного комплекса DEFORM 3D [31] и физический эксперимент.

При проведении компьютерного моделирования углового прессования заготовки были приняты следующие условия и допущения:

- заготовка – пластичное тело;
- кривую упрочнения стали $\sigma_s = 265 + 310\Lambda^{0,68}$

[32] вводили

при подготовке базы данных в виде табличной функции;

– инструмент (рис. 1) – абсолютно жесткое тело (3D модели инструмента были предварительно созданы в «КОМПАС 3D 10V»);

- скорость деформирования – 0,1 мм/с;

– решали изотермическую задачу; температура заготовки и инструмента – постоянная, равная 20 °С; тепловым эффектом деформации из-за малой скорости деформации пренебрегали;

- коэффициент трения принимали $f = 0,1$;
- количество конечных элементов – 50000;
- количество шагов моделирования – 700.

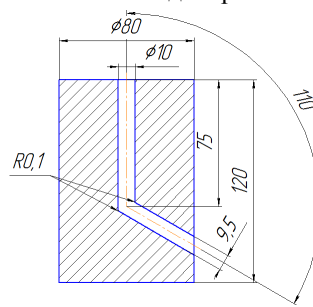


Рис. 1. Форма и размеры матрицы для углового прессования цилиндрических заготовок

Поврежденность рассчитывали по формуле, полученной в работе [30]:

$$\omega = \sum_{k=1}^r \left[\Delta c_k / \left[\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_i} \right)_{cp} \varepsilon_{i,p} \right]_k \right], \quad (1)$$

где r – количество этапов деформирования материальной точки; $\Delta c_k = \int_{\varepsilon_{i,k}}^{\varepsilon_{i,k+1}} \frac{\sigma_1}{\sigma_i} d\varepsilon_i$ – приращение показателя Cockcroft & Latham на k -м этапе деформирования материальной точки заготовки; $\varepsilon_{i,k}$ – интенсивность деформации, накопленной материальной точкой заготовки к началу k -го этапа деформирования; $\varepsilon_{i,k+1}$ – интенсивность деформации, накопленной материальной точкой заготовки к окончанию k -го этапа деформирования; σ_1 – главное положительное нормальное напряжение; σ_i – интенсивность напряжений; $(\sigma_1 / \sigma_i)_{cp}$ – среднее значение отношения главного положительного нормального напряжения к интенсивности напряжений на k -м этапе деформирования материальной точки заготовки; $\varepsilon_{i,p}$ – интенсивность деформации, накопленной материальной точкой образца при испытании к моменту разрушения при постоянном значении показателя σ_1 / σ_i напряженного состояния.

$$\text{Функцию } \varepsilon_{i,p} = -1,397 \ln\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_i}\right) + 0,79, \quad (2)$$

определяющую пластичность стали 15, устанавливали экспериментально по методике, приведенной в работе [30].

Траекторию материальной точки, в которой рассчитывали поврежденность, представляли g этапами деформирования с длительностью t_g каждого этапа деформирования, равной t_g . Количество g этапов деформирования принимали таким, чтобы выполнялось условие [30]

$$0,99 \leq \sum_{k=1}^r \left[\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_i} \right)_{cp} t_g \right]_k / S \leq 1, \quad (3)$$

где S – площадь плоской фигуры, ограниченной графической зависимостью показателя напряженного состояния σ_1 / σ_i материальной точки заготовки от времени, осями абсцисс, ординат и линией, параллельной оси ординат, проходящей через точку $(t_d; 0)$, t_d – время деформирования материальной точки.

Для сравнения результатов расчета поврежденность металла рассчитывали по формуле из работы [26]

$$\omega = \sum_{j=1}^m \int_0^{\Lambda_j} \frac{a \Lambda^{a-1}}{\Lambda_p^a} d\Lambda, \quad (4)$$

где m – количество участков монотонной или квази-монотонной деформации материальной точки,

$$\int_0^{\Lambda_j} \frac{a \Lambda^{a-1}}{\Lambda_p^a} d\Lambda = \left\langle \left[\left(\frac{\Lambda_1}{\Lambda_{p1}} \right)^{a_1/a_2} + \frac{\Lambda_2}{\Lambda_{p2}} \right]^{a_2/a_3} + \dots + \frac{\Lambda_i}{\Lambda_{pi}} \right\}^{a_i/a_{i+1}} + \dots + \frac{\Lambda_n}{\Lambda_{pn}} \Bigg\rangle^{a_n};$$

Λ_j – степень деформации сдвига на j -м участке монотонной или квазимоноотонной деформации материальной точки, в которой рассчитывается поврежденность; n – количество этапов деформирования материальной точки, на протяжении каждого из которых степень деформации сдвига равна Λ_i , а термомеханические параметры постоянны, но изменяются скачком при

переходе от i -го к $(i+1)$ – му этапу, $a = a_0^{1+0,511 \frac{\sigma}{T}}$,

$a_0 = 2,585$, Λ_{pn} – интенсивность деформации сдвига накопленная металлом к моменту разрушения при постоянных термомеханических параметрах n -го этапа деформирования материальной точки, определяли с использованием экспериментально установленной для стали 15 функции, приведенной в работе [32]:

$$\Lambda_p = \left(\frac{\Lambda_{p-1} + \Lambda_{p+1}}{2} - \Lambda_{p0} \right) \mu_\sigma^2 + \frac{\Lambda_{p-1} + \Lambda_{p+1}}{2} \cdot \mu_\sigma + \Lambda_{p0},$$

где $\Lambda_{p-1} = 4,71 \cdot \exp(-0,76 \frac{\sigma}{T})$, $\Lambda_{p+1} = 4,5 \cdot \exp(-0,76 \frac{\sigma}{T})$;

$$\Lambda_{p0} = 2,69 \cdot \exp(-0,75 \frac{\sigma}{T});$$

σ – среднее напряжение; T – интенсивность касательных напряжений; $\mu_\sigma = 2(\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3) - 1$ – показатель Лоде, σ_1 , σ_2 , σ_3 – главные нормальные напряжения. Количество этапов n составляет часть от общего количества g этапов деформирования материальной точки.

Количество m участков монотонной или квазимоноотонной деформации материальной точки, движущейся по траектории в очаге деформации, определяли путем расчета и анализа изменения знака компонент тензора скорости вращения в сопутствующей системе координат, определенной на базисе собственных векторов тензора скорости деформации. Изменение знака хотя бы одной из трех компонент тензора скорости вращения служило основанием считать данную временную точку началом очередного и окончанием предыдущего участков монотонной или квазимоноотонной деформации материальной точки. Частные производные от компонент

скоростей движения материальной точки по координатам сопутствующей системы координат, при расчете компонент тензора скорости вращения, вычисляли через конечные разности соответствующих координат и средние значения главных скоростей деформации материальной точки для двух близких ее положений на траектории движения. При этом для каждой рассчитанной ориентации сопутствующей системы координат вращательное движение материальной точки анализировали за время, равное длительности t_s этапа деформирования.

Результаты моделирования и расчета поврежденности металла

Максимальное значение показателя *Cockcroft &*

Latham $c = \int_0^{\varepsilon_i} \frac{\sigma_1}{\sigma_i} d\varepsilon_i$ – показателя поврежденности металла наблюдается в области заготовки, примыкающей при РКУП к внутреннему углу матрицы (рис. 2, а).

Поэтому расчет поврежденности металла выполняли для материальной точки, выбранной именно из этой области заготовки.

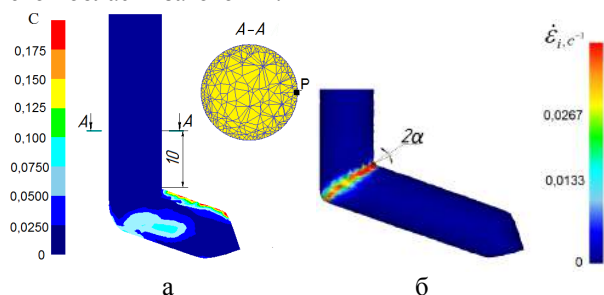


Рис. 2. Схема положения материальной точки и распределение показателя поврежденности металла и интенсивности скорости деформации в заготовке: а – распределение показателя Cockcroft & Latham c в продольном сечении деформированной заготовки, начальное положение материальной точки; б – распределение интенсивности скорости деформации в продольном сечении заготовки

Показатель поврежденности c указанной материальной точки заготовки интенсивно увеличивается в интервале времени 31–62 с, когда точка находится в зоне сдвига очага деформации (рис. 2, б – зона сдвига ограничена углом 2α) и не изменяется в интервале времени 62–400 с, когда точка находится в сужающемся выходном канале матрицы (см. рис. 1) – в зоне растяжения очага деформации (рис. 3). Интенсивному увеличению показателя поврежденности c в интервале времени 31–62 с, способствует действие положительного нормального напряжения σ_1 .

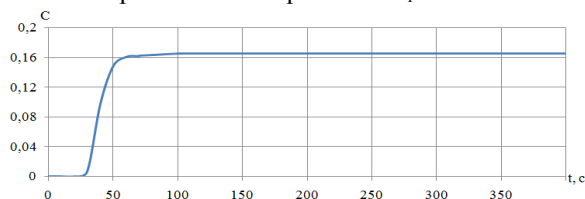


Рис. 3. Графическая зависимость показателя поврежденности c материальной точки от времени

Показатель напряженного состояния σ_1 / σ_i материальной точки заготовки в интервале времени 31–62 с больше 0 (рис. 4). Графическая зависимость интенсивности накопленной деформации в материальной точке от времени качественно совпадает с зависимостью показателя поврежденности металла материальной точки от времени (см. рис. 3 и рис. 5). Значительную деформацию $\varepsilon_i \approx 0,9$ материальная точка получает в зоне сдвига очага деформации и незначительную $\varepsilon_i \approx 0,05$ – в зоне растяжения очага деформации.

Графические зависимости показателей напряженного состояния σ_1 / σ_i и σ / T (см. рис. 4 и рис. 6) качественно совпадают.

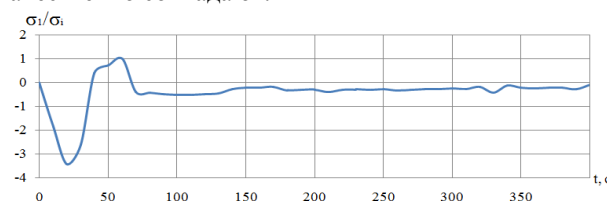


Рис. 4. Графическая зависимость показателя σ_1 / σ_i напряженного состояния материальной точки от времени

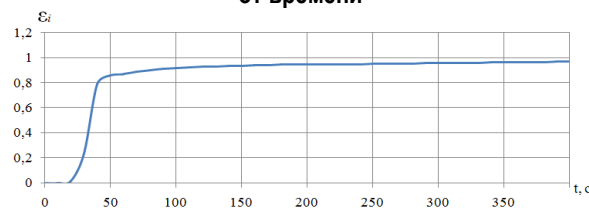


Рис. 5. Графическая зависимость интенсивности деформации, накопленной материальной точкой, от времени

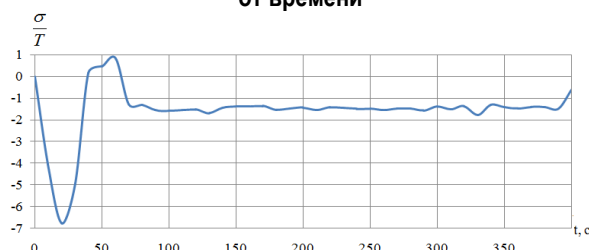


Рис. 6. Графическая зависимость показателя $\frac{\sigma}{T}$ напряженного состояния материальной точки от времени

Показатель Лоде напряженного состояния материальной точки в интервале времени 31–62 с больше 0 (рис. 7).

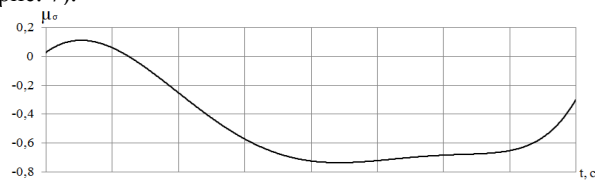


Рис. 7. Графическая зависимость показателя Лоде напряженного состояния материальной точки от времени

Из рис. 8 видно, что деформирование материальной точки заготовки характеризуется семью участками квазимоноотонной деформации.

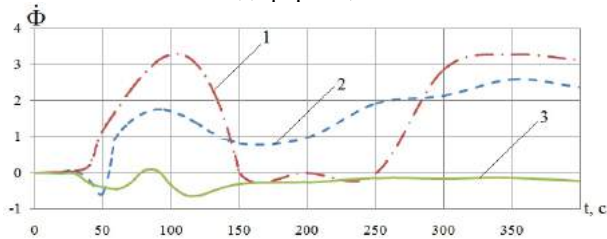


Рис. 8. Графические зависимости компонент тензора скорости вращения материальной точки от времени:

1 – $\dot{\Phi}_2$; 2 – $\dot{\Phi}_3$; 3 – $\dot{\Phi}_1$

Время деформирования материальной точки заготовки, при расчете поврежденности металла, представляли 200-ми этапами деформирования с длительностью этапа t_2 , равной 2 с. Указанные параметры этапного представления деформирования материальной точки заготовки соответствуют выполнению условия (3). Значение поврежденности металла, рассчитанное по формуле (1), получили равным 0,205, а по формуле (4) – 0,223. Относительное отклонение оценок поврежденности металла, за один проход РКУП в указанной материальной точке заготовке, составило 8,8%.

После трех проходов РКУП, с поворотом заготовки на 90 град вокруг «продольной» оси перед очередным проходом РКУП, расчетные значения поврежденности составили соответственно 0,969 и 0,958. После четырех проходов РКУП, с поворотом заготовки на 90 град вокруг «продольной» оси перед очередным проходом РКУП, расчетные значения поврежденности составили соответственно 1,149 и 1,058. Физический эксперимент показал, что разрушение заготовки при РКУП происходит во время осуществления третьего прохода РКУП (рис. 9).



Рис. 9. Заготовка, полученная после трёх проходов РКУП

Выводы

Оценки поврежденности металла при равноканальном угловом прессовании цилиндрической заготовки, полученные с использованием методик А. А. Богатова и Cockcroft & Latham, хорошо согласуются. Относительное отклонение оценок поврежденности металла не превышает 10%.

Методики А. А. Богатова и Cockcroft & Latham – методики расчета поврежденности металла одинаково приемлемы для удовлетворительного прогнозирования разрушения металла при равноканальном угловом прессовании цилиндрической заготовки.

Список литературы

1. Процессы пластического структурообразования металлов / В.М. Серагл, В.И. Резников, В.И. Копылов и др. Минск: Наука і техника, 1994. 232 с.

2. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. М.: Логос, 2000. 272 с.
3. Винтовая экструзия – процесс накопления деформации / Я. Е. Бейгельзимер, В. Н. Варюхин, Д. В. Орлов, С. Г. Сынков. Донецк: Фирма ТЕАН, 2003. 87 с.
4. Носова Н. И., Мулюков Р. Р. Субмикроструктурные и нанокристаллические металлы и сплавы. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 279 с.
5. Андриевский Р. А., Рагуля А. В. Наноструктурные материалы. М.: Academia, 2005. 192 с.
6. Валиев Р. З., Александров И. В. Объемные наноструктурные металлические материалы: получение, структура и свойства. М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. 398 с.
7. Рааб Г. И. К вопросу промышленного получения объемных ультрамелкозернистых материалов // Физика и техника высоких давлений. 2004. Т.15. №1. С. 72–80.
8. Рааб Г.И., Сафин Ф.Ф., Валиев Р.З. Моделирование процесса равноканального углового прессования по схеме «Конформ» титановой длинномерной заготовки // КШП. 2006. № 6. С. 41–44.
9. Деформационные и силовые параметры процесса равноканального углового прессования в параллельных каналах / Боткин А. В., Рааб Г. И., Абрамов А. Н., Валиев Р. З. // КШП. ОМД. 2009. № 6. С. 3–7.
10. Деформационные и силовые параметры процесса равноканального углового прессования длинномерной заготовки по схеме «Conform» / Боткин А. В., Валиев Р. З., Абрамов А. Н., Рааб А. Г. // КШП. ОМД. 2009. № 11. С. 8–14.
11. Yoon S. C., Bok C. H., Seo M. H., Kim T. S., Kim H. S. Comparison in Deformation and Fracture Behavior of Magnesium during Equal Channel Angular Pressing by Experimental and Numerical Methods // Mater. Transactions, Vol. 49, No 5 (2008) pp. 963 to 966. Special Issue on Platform Science and Technology for Advanced Magnesium Alloys, IV©2008 The Japan Institute of Metals.
12. Cetlin P. R., Aguilar M. T. P., Figueiredo R. B., Langton T. G. A voiding cracks and inhomogeneities in billets processed by ECAP // J. Mater. Sci. (2010) 45: 4561–4570.
13. Смирнов-Аляев Г.А. Механические основы пластической обработки металлов. Л.: Машиностроение, 1968. 272 с.
14. Колмогоров В.Л. Напряжения, деформации, разрушение. М.: Металлургия, 1970. 229 с.
15. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением. 2-е изд., перераб. и доп. Екатеринбург: Изд-во УГТУ-УПИ, 2001. 836 с.
16. Колмогоров В.Л. Численное моделирование больших пластических деформаций и разрушения металлов // Кузнечно-штамповочное производство. 2003. № 2. С. 4–16.
17. Кутсаар А. Р., Шалимова А.В. Залечивание пор в меди высоким гидростатическим давлением // Физика металлов и металловедение. 1972. Т. 33. Вып. 6. С. 1322–1334.
18. Пластичность и прочность твердых тел при высоких давлениях / Б.И. Береснев, Е.Д. Мартынов, К.П. Родионов и др. М.: Наука, 1970. 62 с.
19. Smirnov S.V., Domilovskaya T.V., Bogatov A.A., Definition of the form for kinetic equation of damage during the plastic deformation // Advanced Methods in Materials Processing Defects edited by M. Redeleanu and P. Gilormini. Elsevier Science B.V., 1997. P.71–80.
20. Biba N.V., Stebunov S.A., Smirnov S.V. Application of adaptive damage theory for optimization of cold bulk metal forming // Simulation of Materials Processing. Theory, Methods and Applications Ken-ichiro Mori (ed.) Publisher: Swets and Zeitinger (Nether lands), Lisse, 2001. P. 351–355.
21. Огородников В.А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением. Киев: Выща шк., 1983. 175 с.
22. Cockcroft M. G., Latham, D. J. Ductility and Workability of metals // J. Inst. Metals. 1968. V. 96. P. 33 – 39.
23. Калпин Ю.Г., Филипов Ю.К., Беззубов Н.Н. Оценка деформационной способности металла в процессах холодной объемной штамповки // ВНИИТЭМР. 1988. Сер. 3, вып. 10. С. 1–7.
24. Михалевиц В.М. Модели накопления повреждений для тел с начальной и деформационной анизотропией // Изв. АН СССР. Металлы. 1993. № 5. С. 144–151.
25. Огородников В.А., Нахайчук О.В., Любин М.В. Використання ресурс пластичності металу в процесі видавлювання внутрішньої ризи // Вестник ВПИ. 1998. № 1. С. 68–72.
26. Богатов А. А. Механические свойства и модели разрушения металлов: учеб. пособие для вузов. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2002. 329 с.
27. Oh S. I., Chen C. C., and Kobayashi S. Ductile fracture in axisymmetric extrusion and drawing. Part 2: workability in extrusion and drawing. ASME j. Eng. Ind., 1979, 101, 36–44.
28. Hambli R. and Reszka M. Fracture criteria identification using an inverse technique method and blanking experiment. Int. J. Mech. Sci., 2002, 44, 1349–1361.
29. Ogawa N., Shiomi M., and Osakada K. Forming limit of magnesium alloy at elevated temperatures for forging. Int. J. Mach. Tools Manuf., 2002, 42, 607–614.
30. Оценка поврежденности металла при холодной пластической деформации

ции с использованием модели разрушения Кокрофт-Латам / Боткин А. В., Валиев Р. З., Степин П. С., Баймухаметов А. Х. // Деформация и разрушение материалов. 2011. № 7. С. 17–22.

31. Лицензия. Р. С. SFTS. Key#9190/ Ufa, Russia.

32. Прогнозирование разрушения металла при холодной объемной штамповке с помощью адаптивной модели разрушения / Биба Н. В., Стебунов С. А., Смирнов С. В., Вичужанин Д. И. // КШП. ОМД. 2003. № 3. С. 39–14.

Bibliography

1. The processes of plastic structuration in metals/ V.M. Segal, V.I. Reznikov, V.I. Kopilov et al., Minsk: Science and Engineering (Nauka i Tekhnika), – 1994. – 232 p. (in Russian).
2. R.Z. Valiev, I.V. Alexandrov, "Nanostructured Materials Produced by Severe Plastic Deformation", 2000, Logos Pub., Moscow, 272 p. (in Russian).
3. Screw extrusion – strain accumulation process/ J.E. Beigelzimer, V.N. varjukhin, D.V. Orlov, S.G. Sinkov, Donetsk, TEAN Pub., 2003. 87 p. (in Russian).
4. Nosova N.I. Submicrostructural and nanostructural metals and alloys/ N.I. Nosova, R.R. Mulukov. Ekaterinburg: RAS Ural branch, 2003, 279 p. (in Russian)
5. Andrievsky R.A. Nanostructured materials/ R.A. Andrievsky, A.V. Ragulya. Moscow.: Academia Pub., 2005. 192 p. (in Russian)
6. R.Z. Valiev, I.V. Alexandrov, "Bulk Nanostructured Metallic Materials: Production, Structure and Properties", 2007, Akademkniga Pub., Moscow, 398 p., ill. (in Russian).
7. Raab G.I. On Commercial Production of Bulk Ultrafine-grained materials// Physics and Technique of High Pressures (Physica i tekhnika visokikh davlenij) (2004) V., 15. №1. P.72–80 (in Russian).
8. G.I. Raab, F.F. Saffin, R.Z. Valiev, Simulation of the Process of Equal-Channel Angular Pressing of Titanium Long-Length Preform under the "Conform" Scheme, Scientific, Technical and Production Journal - Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure (Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem), No.6 (2006) pp.41–44, (in Russian).
9. Botkin A.V., Raab G.I., Abramov A.N., Valiev R.Z. Deformation and Loaded Parameters of the Process of Equal-Channel Angular Pressing in Parallel Channels// Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure (Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem), 2009, № 6. P. 3–7.
10. Botkin A.V., Valiev R.Z., Abramov A.N., Raab G.I. Deformation and Loaded Parameters of the Process of Equal-Channel Angular Pressing by "Conform" Techniques Applied to a Long-sized Billet // Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure (Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem), 2009, № 11. P. 8–14.
11. Yoon S. C., Bok C. H., Seo M. H., Kim T. S., Kim H. S. Comparison in Deformation and Fracture Behavior of Magnesium during Equal Channel Angular Pressing by Experimental and Numerical Methods // Mater. Transactions, Vol. 49, No 5 (2008) pp. 963 to 966. Special Issue on Platform Science and Technology for Advanced Magnesium Alloys, IV©2008 The Japan Institute of Metals.
12. Cetlin P. R., Aguilar M. T. P., Figueiredo R. B., Langton T. G. A voiding cracks and inhomogeneities in billets processed by ECAP // J. Mater. Sci.

(2010) 45: 4561–4570.

13. Smirnova-Aljaev G.A. Technical Basics of Metals Shaping. – Leningrad: Mashinostroenie Pub., 1968. – 272 p.
14. Kolmogorov V.L. Strain, Deformation, Failure. – Moscow, Metallurgija Pub., 1970. – 229 p.
15. Kolmogorov V.L. Mechanics of Metals Forming, 2-nd augmented edition, Ekaterinburg: Pub. of Ural State Technical University-Ural Polytechnic Institute, 2001. 836 p.
16. Kolmogorov V.L. Numerical Simulation of Large Plastic Deformations and Metals Failure// Forging and Stamping Production. (Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo.), 2003, № 2. P. 4–16.
17. Kutsaar A.R., Shalimova A.V., Sintering-out of Cavities in Copper by Hydrostatic Pressure// Physics of Metals and Metallurgy (Physics metallov i metallovedinie). 1972, V.33, № 6. p.1322–1334.
18. Strength and Plasticity of Solids at high Pressures/ B.I. Beresnev, E.D. Martinov, K.P. Rodionov et al., Moscow, Nauka Pub., 1970. 62 p.
19. Smirnov S.V., Domilovskaya T.V., Bogatov A.A., Definition of the farm for kinetic equation of damage during the plastic deformation // Advanced Methods in Materials Processing Defects edited by M. Redeleanu and P.Gilormini. Elsevier Science B.V., 1997. P.71–80.
20. Biba N.V., Stebunov S.A., Smirnov S.V. Application of adaptive damage theory for optimization of cold bulk metal forming // Simulation of Materials Processing. Theory, Methods and Applications Ken-ichiro Mori (ed.) Publisher: Swets and Zeitinger (Nether lands), Lisse, 2001. P. 351–355.
21. Ogorodnikov V.A. Evaluation of Metals Deformability at Pressure Shaping. – Kiev, Visch.Sh. Pub., 1983. – 175p.
22. Cockcroft M. G., Latham, D. J. Ductility and Workability of metals // J. Inst. Metals. 1968. V. 96. P. 33 – 39.
23. Kalpin Yu.G., Philipov Y.K., Bezzubov N.N. Evaluation of Metals Deformability at Cold Massive Forging// VNIITEMR.– 1988. Part 3, № 10. – P. 1–7.
24. Mikhalevich V.M. Models of Damages Accumulation of Bodies with Initial and Induced Anisotropy.// USSR AS News. Metals. – 1993, № 5, P. 144–151.
25. Ogorodnikov V.A., Nakhaychuk O.V., Ljubin M.V. The used resource of plasticity of metal in the extrusion process. Journal of WPI. – 1998. № 1 – S. 68–72.
26. Bogatov A.A. Mechanical Features and Fracture Models of Metals, study guide for high schools, Yekaterinburg, SEI HPE USTU-UIPI, 2002, 329 p.
27. Oh S. I., Chen C. C., and Kobayashi S. Ductile fracture in axisymmetric extrusion and drawing. Part 2: workability in extrusion and drawing. ASME j. Eng. Ind., 1979, 101, 36–44.
28. Hambli R. and Reszka M. Fracture criteria identification using an inverse technique method and blanking experiment. Int. J. Mech. Sci., 2002, 44, 1349–1361.
29. Ogawa N., Shiomi M., and Osakada K. Forming limit of magnesium alloy at elevated temperatures for forging. Int. J. Mach. Tools Manuf., 2002, 42, 607–614.
30. Botkin A.V., Valiev R.Z., Stepin P.S., Baymukhametov A.Kh., Evaluation of Metals Damage at Cold Plastic Deformation at Kokroft-Latam Fracture Model// Materials Defamation and Damage. 2011. № 7. P. 17–22.
31. License. P. C. SFTS. Key#9190/ Ufa, Russia.
- Biba N.V., Stebunov S.A. Smirnov S.V., Vichuzshanin D.I. Simulation of Metals Failure at Cold Die Forging Using Adaptive Fracture Model// Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure (Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem), 2003, № 3. P. 39–14.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

УДК 621.777:621.771.22

Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Трифоненков Л.П., Орелкина Т.А., Дроздова Т.Н., Баранов В.Н., Галиев Р.И., Ворошилов Д.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ДЕФОРМИРОВАННЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Al – РЗМ, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА СОВМЕЩЕННОГО ЛИТЬЯ И ПРОКАТКИ-ПРЕССОВАНИЯ

В работе [1] были приведены результаты исследований структуры и свойств металла для сплавов алюминия с повышенным содержанием редкоземельных металлов (5,0 мас.% РЗМ). При этом получены высокие механические свойства полуфабрикатов из таких сплавов, однако, показатели удельного электросопротивления оказались достаточно высоки (0,031–0,033 Ом·мм²/м). С целью снижения последних характеристик провели исследования по получению деформированных полуфабрикатов из сплавов системы Al – РЗМ с различным содержанием церия и лантана (0,5–4 мас.%), а также добавкой в эти сплавы никеля (до 0,2 мас.%). При приготовлении сплавов в качестве основных легирующих компонентов использовали сплавленные лигатуры Al-мишметалл (ММ) и Al-La голландского производства KBM. Для проведения опытов по получению прутков и проволоки были получены литые заготовки из экспериментальных сплавов при температурах плавки 760°C, заливки – 750°C и времени выдержки – 10 мин. Плавка осуществлялась в печи ЛПЗ 67 с применением графитового тигля.

Далее получали прутки по отработанной технологии совмещенного литья и прокатки-прессования (СЛиПП) на установке совмещенной обработки [1, 2]. При этом слитки загружали в печь-миксер, нагревали до температуры 760°C, выдерживали при этой температуре и заливали расплав во вращающиеся валки установки диаметром 200 мм. Температурно-скоростные режимы деформации определяли с использованием методики, изложенной в работе [3]. На выходе из калибра валков устанавливали матрицу, которая была плотно поджата к валкам с помощью гидроприжима. Диаметр калибрующего отверстия матрицы был равен 9 мм. От полученных прутков отрезали образцы для испытаний на растяжение, по которым определяли временное сопротивление разрыву и относительное удлинение горячепрессованных и холоднокатанных изделий. Оставшиеся части прутков подвергали холодному волочению и получали проволоку диаметром 2 мм, при этом суммарная степень деформации достигала 62 %.

Для исследований механических свойств деформируемых полуфабрикатов использовали универсальную электромеханическую машину LFM 400 усилием

400 КН. Измерение удельного электросопротивления прутков после СЛиПП и проволоки после холодного волочения проводили с помощью миллиомметра «ВИТОК» в соответствии с ГОСТ 7229-76 на образцах с расчетной длиной 1 м. Свойства деформированных полуфабрикатов приведены в **таблице**.

Механические свойства и удельное электросопротивление деформированных полуфабрикатов из низколегированных сплавов системы Al-РЗМ

Номер образ- ца	Содержа- ние мишме- талла (ММ), %	Механические свойства				Удельное электро- сопротивле- ние проволо- ки, Ом·мм²/м
		прутка диаметром 9 мм		проволоки диаметром 2 мм		
		σ _в , МПа	δ, %	σ _в , МПа	δ, %	
1	0,5	123,7	32,9	165,2	7,0	0,0282
2	1,5	124,0	32,7	188,4	6,0	0,0291
3	2,5	139,9	30,7	185,8	5,8	0,0297
4	4,0	158,3	23,2	198,6	5,6	0,0311
5	0,3+La	125,9	31,7	172,8	6,0	0,0281
6	1,0+La	134,5	23,6	185,3	5,1	0,0287
7	1,5+La	144,6	21,4	193,4	4,8	0,0303
8	2,5+La	144,8	17,8	219,2	4,5	0,0307
9	0,5+Ni	119,6	42,1	180,2	6,0	0,0282
10	1,5+Ni	132,8	32,0	186,4	5,0	0,0292
11	2,5+Ni	133,8	25,1	199,5	4,1	0,0300

Для анализа процессов, происходящих в металле при получении деформированных полуфабрикатов, проводили металлографические исследования на световом микроскопе Axio Observer.A1m, Carl Zeiss и растровом электронном сканирующем микроскопе «EVO 50», Carl Zeiss с энергодисперсионным микроанализатором Inca Energy 350.

По результатам микроструктурного анализа установлено, что технология получения прутков методом СЛиПП из исследуемых сплавов привела к значительным изменениям макро- и микроструктуры по сравнению с литым состоянием. На образцах наблюдается макронеоднородность в виде полос, ориентированных в направлении оси деформации, состоящих из эвтектических колоний строения. В малолегированных сплавах проявляется макронеоднородность по сечению прутка,

характеризующаяся зонами с повышенным количеством эвтектических составляющих, вытянутых в строчки, и зонами с единичными выделениями эвтектических кристаллов (рис. 1, а, б). Причем, области, обогащенные эвтектическими выделениями, формируются в центральной части прутка, периферийная часть практически не содержит фаз Al_4Me ($Al_{11}Me_3$), Al_3Ni .

Увеличение концентрации легирующих элементов усиливает макро- и микронеоднородность в структуре прутков. Значительное легирование ~ 4 % мишметаллом (рис. 1, в, г, рис. 2, а, б) приводит к грубой строчечной структуре по всему сечению прутка.

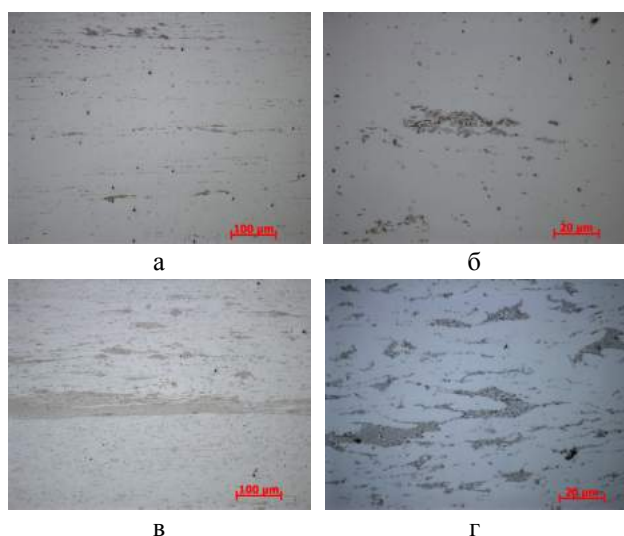


Рис. 1. Микроструктура прутков из сплавов с различным содержанием мишметалла: а, б – образец №1 с 0,5% ММ; в, г – образец №4 с 4% ММ; а, в – $\times 200$; б, г – $\times 1000$

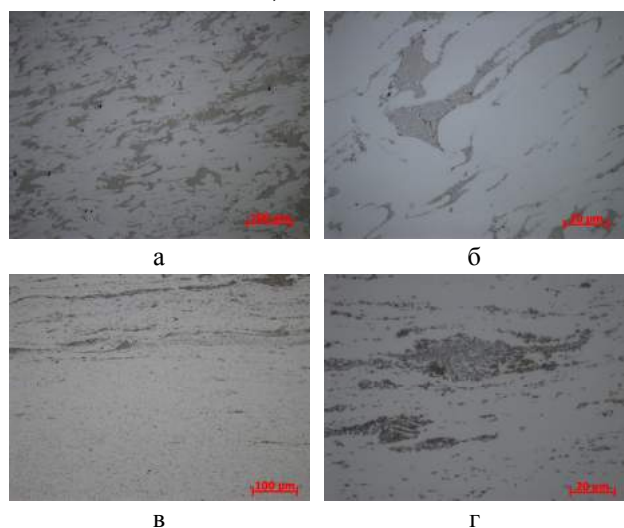


Рис. 2. Микроструктура прутков из сплавов, легированных лантаном, образец №8 (а, б), и никелем, образец №11 (в, г); а, в – $\times 200$; б, г – $\times 1000$

Волочение проволоки из исследованных прутков не устранило макро- и микронеоднородности исходных заготовок. Структура проволоки подобна структуре прутков тех же составов.

В проволоке малолегированных сплавов (рис. 3, а, б) присутствует незначительная макронеоднородность в виде 1-2 строчек избыточных фаз вдоль направления деформации. Строчечность в структуре проволоки возрастает с повышением легированности сплава РЗМ. В зонах строчечности структуры образцов, легированных лантаном, наблюдаются значительные неоднородные области, представленные в виде скоплений эвтектических кристаллов (рис. 3, в, г, рис. 4). Эвтектика при волочении сохранила пластичное строение.

Анализ результатов исследований механических и электрических свойств полуфабрикатов (см. таблицу) показал, что с увеличением содержания церия растет временное сопротивление разрыву и удельное электросопротивление, что согласуется с данными, приведенными в работе [1]. Добавление в сплав лантана приводит к аналогичным последствиям и подтверждает установленные закономерности. Однако следует отметить, что в этом случае процесс деформации заготовок протекал с повышенными энергозатратами и характеризовался достаточно высокой трудоемкостью обработки.

Установлено также, что добавки никеля в сплав повышают технологичность обработки, при этом достигаются высокие прочностные свойства и сохраняются указанные выше закономерности, в соответствии с которыми при увеличении содержания в сплаве церия и никеля растет электросопротивление металла.

Пластичность прутков и проволоки сплавов разных систем легирования уменьшается с повышением содержания Ce, La, Ni. В прутках сплавов системы Al-ММ-La выявляется пониженная пластичность. Микрорентгено-спектральным анализом установлено, что в слитках сплавов системы Al-ММ-La в составе фаз содержание лантана превышает содержание церия, это подтверждает иной фазовый состав эвтектических включений в отличие от сплавов системы Al-ММ и Al-ММ-Ni. Никель в сплавах системы Al-ММ-Ni является микродобавкой, не существенно влияющей на структуру. Вследствие этого, можно предположить, что установленное понижение пластичности связано с формированием в структуре иных труднодеформируемых фаз, в составе которых повышено содержание лантана по сравнению со сплавами системы Al-ММ, Al-ММ-Ni.

Таким образом, в результате проведенных исследований выявлено влияние содержания мишметалла, а также мишметалла с добавками лантана и никеля на свойства и структуру пресс-изделий из низколегированных сплавов системы Al-РЗМ. Установлено, что добавки лантана снижают, а добавки никеля повышают технологичность обработки. При заданном содержании мишметалла значения удельного электросопротивления у исследуемых сплавов ниже по сравнению с высоколегированными сплавами [1] в среднем на 10–12%.

Полученные количественные оценки свойств деформированных полуфабрикатов из исследуемых алюминиевых сплавов и закономерности их изменения использованы при создании конструкций оборудования и разработке технологических режимов получения длинномерных изделий электротехнического назначения.

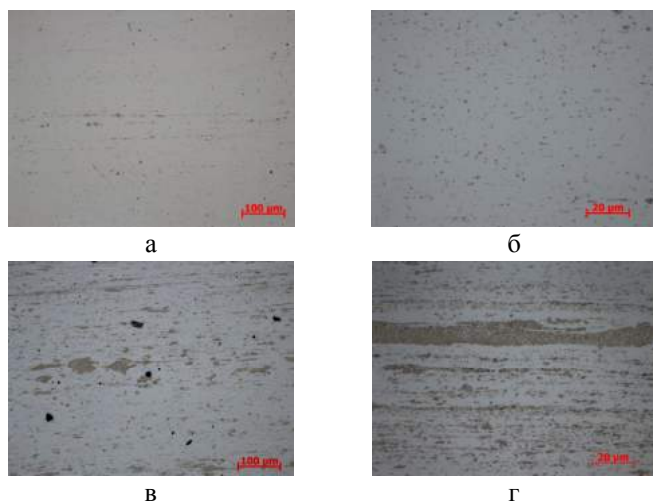


Рис. 3. Микроструктура проволоки из сплавов с различным содержанием мишметалла: а, б – образец №1 с 0,5% ММ; в, г – образец №4 с 4% ММ; а, в – $\times 200$; б, г – $\times 1000$

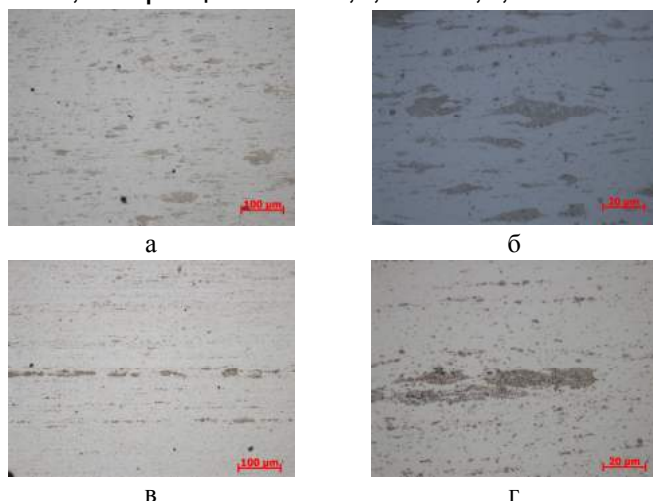


Рис. 4. Микроструктура проволоки из сплавов, легированных лантаном, образец №8 (а,б), и никелем, образец №11 (в, г); а, в – $\times 200$; б, г – $\times 1000$

Исследования проведены при реализации государственной программы поддержки развития кооперации и использования субсидий ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» и ООО «РУСАЛ ИТЦ», совместно участвующих в рамках договора №13.G25.31.0083 с Министерством образования и науки России в выполнении комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства по теме «Разработка технологии получения алюминиевых сплавов с редкоземельными, переходными металлами и высокоэффективного оборудования для производства электротехнической катанки».

Список литературы

1. Исследование структуры металла и оценка свойств опытных образцов из сплава системы Al-P3M, полученных совмещенными методами литья и обработки давлением / Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Ворошилов Д.С. и др. // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2011. №2. С.23–28.
2. Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Загиров Н.Н. Комбинированные и совмещенные методы обработки цветных металлов и сплавов: монография. М.:МАКС Пресс, 2005. 344 с.
3. Повышение эффективности производства профилей из алюминиевых сплавов на основе управления тепловыми условиями процесса прессования / Беляев С.В., Довженко Н.Н., Сидельников С.Б. и др. // Журнал Сиб. фед. ун-та. 2009. №4. С. 418–426.

Bibliography

1. Sidelnikov, S.B., Dovzhenko, N.N., Voroshilov D.S., etc., The study of metal structure and assessment of the test samples properties of Al-REM alloys obtained by combined methods of casting and forming. Bulletin of the Magnitogorsk State Technical University under the name of G.I. Nosov, vol.2, 2011, pp 23–28.
2. Sidelnikov S.B., Dovjenko N.N., Zagirov N.N. Combined and complex methods of forming of non-ferrous metals and alloys: monograph. // M.:MAX Press, 2005. – 344 p.
3. Belyaev S.V., Dovjenko N.N., Sidelnikov S.B. etc. Increasing production efficiency of profiles made of aluminum alloys based on control the thermal conditions of extruding process. Magazine of Siberian Federal University, №4, 2009, pp 418–426.

УДК 620.1:669.1

Гадалов В.Н., Афанасьев А.А., Романенко Д.Н., Болдырев Ю.В., Рагулина Л.Г., Шестакина С.В.

АБРАЗИВНАЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ЦЕМЕНТИТОСОДЕРЖАЩИМИ СТРУКТУРАМИ

Абразивное изнашивание заключается в отделении частиц металла от изнашиваемой поверхности абразивными телами, которые под действием нормальной нагрузки внедряются в поверхность металла и, при движении по этой поверхности, срезают с нее микростружку. По отношению к металлическим материалам абразивными телами являются частицы, имеющие более высокую твердость, чем металл. Такими абразивными телами могут являться природные частицы минерального происхождения: кварц, гранит,

глинозем и т.д. Их отличительная особенность – высокая твердость и высокая механическая прочность. Наиболее часто встречающийся в природе абразив – кварцевый песок, имеет твердость около 10000 МПа и прочность на сжатие 280 МПа.

Отделение продуктов износа с поверхности металла при абразивном изнашивании происходит в результате либо однократного, либо многократного воздействия абразивных тел на единичный объем металла. В первом случае в зоне трения реализуются про-

цессы микрорезания, во втором – процессы пластического деформирования (микросмятия). При этом интенсивность изнашивания в первом случае значительно выше, чем во втором. Реализация того или иного механизма изнашивания зависит от соотношения твердостей материала и абразива. Переход от микро смятия к микрорезанию происходит при условии

$$H_m/H_a=0,7, \quad (1)$$

где H_m и H_a – соответственно твердости металла и абразивных частиц.

В области микрорезания (при $H_m < 0,7H_a$) относительная износостойкость прямо пропорциональна твердости изнашиваемого материала:

$$\varepsilon = \epsilon \cdot H_m, \quad (2)$$

где ϵ – некоторая константа, определяемая свойствами материала.

Зависимость (2) справедлива для ряда технически чистых отожженных сталей, т.е. для весьма мягких материалов. Для этих же материалов справедлива зависимость износостойкости от их модуля упругости, выражаемая формулой:

$$\varepsilon = 0,49 \cdot 10^{-3} \cdot U^{1,3}, \quad (3)$$

где U – модуль нормальной упругости (Юнга).

При изнашивании по механизму пластического деформирования износостойкость материала уже не определяется такими простыми зависимостями в этой области кроме силовых факторов, большую роль, а иногда главную, в определении уровня износостойкости играют характеристики структуры и усталостные свойства изнашиваемого материала.

О наличии таких связей в литературных источниках по износу [1, 2] имеются многочисленные указания. Общеизвестным здесь является тот факт, что наибольшей износостойкостью обладают материалы с многофазными (гетерофазными) структурами, насыщенными твердыми и тугоплавкими фазами: карбидами, нитридами, боридами и т.п.

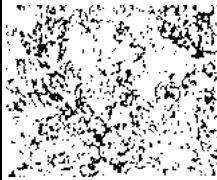
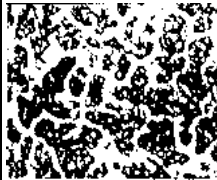
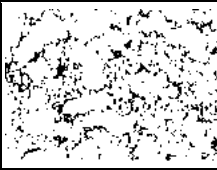
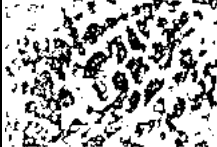
Различия в износостойкости таких материалов обуславливаются типом включений, их количеством, размерами и формой. Кроме того, на износостойкость гетерофазных структур влияет тип металлической матрицы и ее свойства, главным образом твердость и усталостная прочность.

Представление о влиянии структуры металлических материалов на их износостойкость и ударную вязкость можно получить, анализируя данные работы [3], где приведены результаты испытания служебных свойств наплавленных железохромистых сплавов.

Микроструктуры некоторых сплавов, расположенных в порядке увеличения содержания в них уг-

лерода, и их характеристики представлены в таблице.

Структуры, абразивная износостойкость и ударная вязкость наплавленных материалов

Но- мер спла- ва	Хими- ческий состав	Вид микроструктуры	Описание структуры	Твер- дость	Относи- тельная износостой- кость	Удар- ная вяз- кость, Дж/см ²
1	C - 0,2% Cr-5%		Ферритно-перлитная структура	383	1,19	5,5
2	C - 0,7% Cr-5%		Мартенсит + остаточный аустенит	561	1,50	4,8
3	C - 1,3% Cr - 5%		Карбидная фаза по границам зерен + твердый раствор с трооститным распадом	685	2,03	3 2
4	C - 2,4% Cr-5%		Избыточные карбиды в ледебуритной эвтектике	700	2,66	1,8
5	C - 3,0% Cr-5%		Ледебуритная эвтектика + твердый раствор	652	2,25	1,2

Химический состав материалов (наплавов), приведенных в таблице, отличается только содержанием углерода, однако структура и свойства этих материалов различаются коренным образом. Дозэвтектоидные сплавы (№ 1 и 2) имеют невысокую твердость и относительно небольшую износостойкость, однако ударная вязкость их довольно высокая, особенно у сплава № 1 с ферритно-перлитной структурой.

Заэвтектоидные сплавы, (№3 и 5), структура которых представлена сплошной карбидной сеткой, имеют повышенную твердость и износостойкость по сравнению с первыми, однако отличаются чрезвычайно низкой ударной вязкостью. Их хрупкость обусловлена, по-видимому, тем, что разрушающая трещина проходит по карбидной сетке, не встречая сопротивления вязких участков. Наконец, сплав № 4 занимает особое место в ряду рассматриваемых материалов, он имеет наивысшую твердость и износостойкость, в то же время его ударная вязкость находится на удовлетворительном уровне. Такое благоприятное соотно-

шение свойств у названного сплава получилось благодаря его своеобразной структуре.

Как можно видеть по микрофотографии, помещенной в **таблице**, структура сплава № 4 состоит из отдельных крупных карбидных включений, изолированных друг от друга тонкими участками вязкого твердого раствора, которые обеспечивают материалу повышенную ударную вязкость.

Таким образом, можно заключить, что для получения максимально возможной износостойкости и высокой ударной вязкости структура гетеро-фазного материала должна отвечать так называемому правилу Шарпи, которое состоит в том, что частицы твердой фазы должны быть изолированные друг от друга участками достаточно пластичной и вязкой матрицы.

Решающее влияние на абразивную износостойкость оказывает содержание твердой фазы в структуре изнашиваемого материала. В работе [4] показано, как влияет содержание цементитных частиц в структуре диффузионного слоя стали 30X3Г2Ф на ее абразивную износостойкость (**рис. 1**).

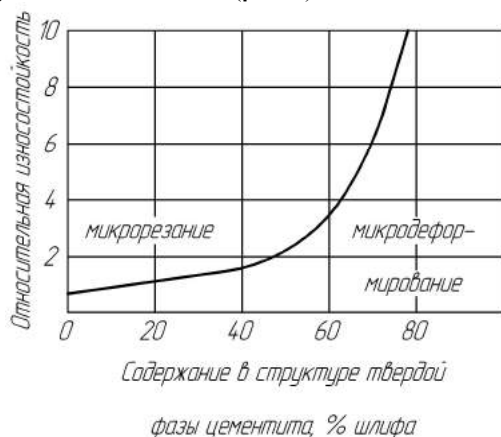


Рис. 1. Зависимость относительной износостойкости (эталон – сталь) цементованной стали 30X3Г2Ф от содержания цементитных включений в диффузионном слое; абразивная среда – кварцевый песок [4]

Как видно из **рис. 1**, износостойкость цементитсодержащего материала при содержании в структуре небольшого количества частиц твердой фазы (примерно до 50%) при воздействии кварцевого песка невелика ($\epsilon = 1,5-3$) и практически прямо пропорциональна содержанию этой фазы. При более высоком содержании цементита в структуре изнашиваемого слоя его износостойкость интенсивно возрастает, достигая при содержании цементита более 80%, очень высоких величин ($\epsilon = 4-10$ и более).

Очевидно, что при малых содержаниях в структуре материала твердых включений механизм его абразивного изнашивания соответствует микрорезанию, когда частицы износа отделяются от поверхности металла за один проход абразивного тела (частицы песка). При высоком содержании твердой фазы в структуре материала для отделения такого же фрагмента изнашиваемой поверхности необходимо многократное воздействие на нее абразивных частиц, т.е. многократное упругое и пластическое деформирование материала перед его разрушением.

Микроструктура нитроцементованного слоя стали 30X3Г2Ф, соответствующая износостойкости $\epsilon=5$ (по схеме на **рис. 1**), представлена на **рис. 2**.



Рис. 2. Микроструктура диффузионного слоя стали 30X3Г2Ф, цементованного при 900°C в течение 6 ч. Содержание карбидов цементита на поверхности 80%, относительная износостойкость при изнашивании в кварцевым абразиве $\epsilon = 5$ (эталон – сталь) ($\times 500$)

Таким образом, для получения высокой износостойкости стали в массах, содержащих абразивные частицы, необходимо, чтобы при ее упрочняющей обработке (цементации) в диффузионных слоях было бы получено максимальное количество карбидов или других твердых фаз. С другой стороны, карбиды, как известно, отличаются повышенной хрупкостью, и динамическое приложение внешней нагрузки может привести к их разрушению и, следовательно, к снижению упрочняющего эффекта. Для обеспечения высокого уровня ударной вязкости гетерофазных материалов необходимо сформировать при упрочнении некий специфический вид структуры, способный сопротивляться как абразивному воздействию, так и ударам при изнашивании.

Для установления роли карбидной фазы в повышении абразивной износостойкости сплавов рассмотрено деформирование пластичной матрицы и связанное с этим разрушение карбидных частиц, а также разделение матрицы и карбидной частицы (образование пор на межфазных границах), т.е. элементарные акты, из которых складывается абразивное изнашивание.

Gurland с соавтором [5, 6] исследовали влияние частиц цементита сфероидированной стали (1,05–1,47% углерода) и установили, что при ее деформации могут произойти как разрывы по поверхности раздела между карбидной частицей и матрицей, так и растрескивание самих карбидных частиц. Образование пор на границах раздела начинается у частиц большого размера, при этом происходит преимущественное растрескивание крупных частиц. Если, например, средний размер всех карбидных частиц в стали составляет 1,3 мкм, то средний размер разрушенных частиц – 2,2 мкм. Почти во всех случаях для разделения карбидной частицы и матрицы необходимо пластическое течение последней, трещины в частицах цементита также появляются после пластического течения матрицы. Концентрация напряжений и, следовательно, деформации в матрице вблизи поверхности твердых частиц зависят от формы последних: для частиц сферической или близкой к сферической форме коэффициент концентрации напряжений равен

двум, при частицах удлиненной формы он существенно больше (достигает десяти и выше). Из моделей, разработанных для анализа растрескивания цементита в двухфазных структурах с карбидными частицами в окружении твердого раствора, применяется модель, разработанная Дж. Гурландом [7].

$$\tau_E = \left[\frac{d}{l+d} \right]^{\frac{1}{2}} \left[\frac{2\gamma G}{\pi(1-\nu)L} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (4)$$

где τ_E – эффективное касательное напряжение, необходимое для растрескивания цементного барьера на пути скопления дислокаций; d – ширина цементитного барьера; L – длина дислокационного скопления; γ – поверхностная энергия трещины; G – модуль сдвига матрицы; ν – коэффициент Пуассона.

Если подставить в уравнение (4) действительные значения параметров: $G = 1,05 \cdot 10^5$ МПа, $\gamma = 0,1 \text{ Гб}$, где b – вектор Бюргера, равный $3 \cdot 10^{-10}$ м, то для различных цементитных частиц и различных расстояний между ними (d и l) можно подсчитать напряжения, необходимые для растрескивания этих частиц (рис. 3).

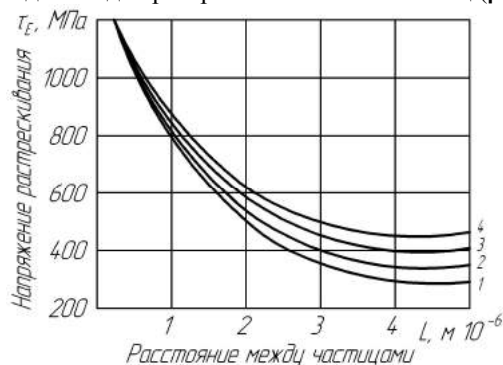


Рис. 3. Напряжения сдвига, необходимые для растрескивания цементитных частиц в стали, в зависимости от расстояния между частицами l ; размеры частиц: 1 – $d = 2$ мкм; 2 – $d = 5$ мкм; 3 – $d = 10$ мкм; 4 – $d = 20$ мкм

Полученные расчетами напряжения сдвига соответствуют пределу текучести сталей с содержанием до 0,85% углерода ($\sigma_T = 200\text{--}1000$ МПа).

Почти точное совпадение значений τ_E и σ_T подтверждает справедливость модели скопления дислокации, согласно которой на величину τ_E влияют размеры карбидных частиц и расстояния между ними. Обе этих характеристики обуславливаются степенью блокирования дислокаций, которая резко увеличивается при некотором критическом расстоянии между частицами ($L_{кр}$), равном, как видно из рис. 3, примерно 1 мкм.

При большом содержании карбидов в структуре гетерофазного материала, когда расстояние между ними становится равным или меньшим критического, дислокации в матрице стесняются (блокируются) настолько, что пластическая деформация становится практически невозможной, и для разрушения карбидных частиц требуется резкое увеличение напряжений сдвига до уровня предела их прочности. Износостойкость материала при этом резко увеличивается.

Отделение частиц твердой фазы от матрицы (рас-

трескивание по межфазным границам) происходит под действием локальных напряжений на поверхности раздела. Нарушения связи не произойдет, если прочность границы раздела будет больше максимальной компоненты растягивающего напряжения σ_z при пластическом течении матрицы в области, прилегающей к частице твердой фазы. Согласно [7]

$$\sigma_z = 2k + \sigma_x, \quad (5)$$

где k – критерий текучести (общепринятый предел текучести при сдвиге); σ_x – поперечная компонента напряжений, вызывающих течение матрицы.

Уравнение (5) показывает потенциально важную роль поперечной компоненты напряжений сжатия в устранении возможности образования разрывов между частицами твердой фазы и матрицей. Величину этих напряжений в сталях можно регулировать химико-термической и последующей термической обработкой.

В работе [8] показано, что в сталях при их быстром охлаждении от 700°C возникают структурные сжимающие напряжения в результате разности коэффициентов термического расширения карбидов и ферритной матрицы. Наибольшей величины (до 700 МПа) эти напряжения достигают в присутствии карбидов вольфрама WC, и значительно меньшей (140 МПа) – в присутствии цемента F_3C . Следовательно, если в процессе химико-термической обработки стали в ее диффузионных слоях будут формироваться избыточные частицы твердой фазы, то на поверхности такой стали будут возникать структурные сжимающие напряжения, что имеет весьма важное практическое значение.

В работе [9] установлено, что в результате цементации стали ХВГ при 920°C в ее наружной зоне выделяется большое количество избыточного цементита и формируются сжимающие остаточные напряжения, примерно в 2 раза превышающие такие напряжения в нецементованных образцах (рис. 4).

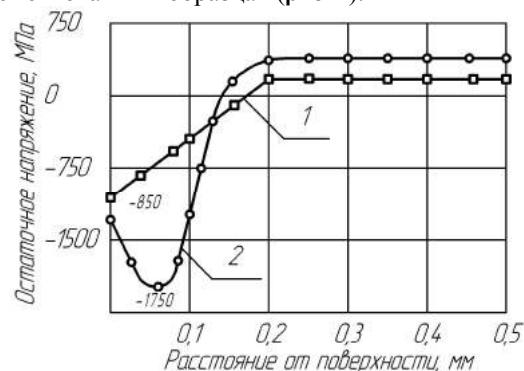


Рис. 4. Остаточные напряжения в цементованных (1) и нецементованных (2) образцах стали ХВГ [9]

Когда содержание частиц твердой фазы в структуре достигает такого значения, при котором вязкое разрушение переходит в хрупкое, для частиц цементного типа это содержание составляет примерно 75–80%, абразивное изнашивание ее должно прекратиться, уступив место истиранию карбидов кварцевыми частицами, содержанию будет соответствовать резкое повышение износостойкости (см. рис. 4).

Критическое напряжение σ_p , необходимое для разрушения композита с цементитными частицами в

структуре, может быть оценено с использованием критерия Гриффитса – Орована:

$$\sigma_p = k \left(\frac{E \gamma_p}{l_c} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (6)$$

где k – постоянная, учитывающая концентрацию напряжений в матрице возле поверхности частиц; E – модуль упругости сплава; γ_p – удельная работа разрушения (образованию новых поверхностей); l_c – длина дефекта, инициирующего разрушения.

Согласно [10] для сферических включений $k = 2$, при удлинительных включениях, как уже отмечалось, эта величина существует в уравнении (6), определяется модулем главного компонента, т.е. кардита. Параметр l_c в теории хрупкого разрушения связан с местоположением зародыша трещины. Когда разрушение начинается в крупных частицах, за величину l_c принимается диаметр частицы.

Подставив в уравнение (6) значение параметров, соответствующих цементиту, а именно: $E_{\text{цем}} = 2,16 \cdot 10^5$ МПа, $\gamma_p = E \cdot \delta / 30$ (где вектор Бюргерса можно принять равным среднему межатомному расстоянию в решетке цементита: $b = 3,10^8$ см), $l_c = 10^{-4} - 10^{-3}$ см, $k = 2$, можно вычислить зависимость максимальной прочности σ_p цементитсодержащего композита (рис. 5). Полученная зависимость для материала с цементитными частицами более $\approx 5 \cdot 10^4$ см удовлетворительно соответствует характеру экспериментальной зависимости, приведенной в работе [10], для металлокерамических спеченных сплавов WC-Co с таким же размером частиц.

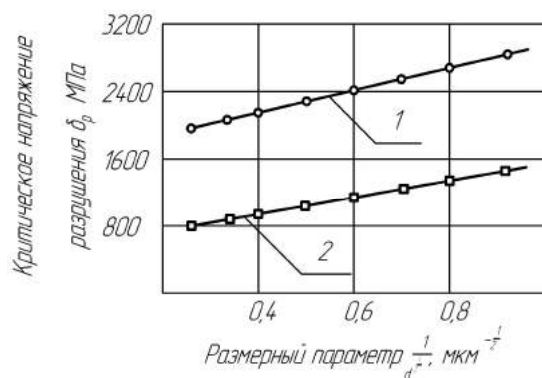


Рис. 5. Максимальная прочность σ_p сплавов в функции от диаметра карбидных частиц (при 75–80% карбидной фазы в сплаве): 1 – спеченные твердые сплавы WC-Co; 2 – сплавы Fe₃C-Fe, вычисленные по уравнению (6)

Согласно основной предпосылке, вытекающей из приведенного анализа, наибольшую эффективность поверхностного упрочнения твердофазными включениями можно ожидать при максимальном насыщении поверхности стали частицами твердой фазы, в частно-

сти цементитом (70% и более). При этом частицы твердой фазы должны иметь сферическую форму и должны быть изолированы друг от друга участками вязкой матрицы. В этом случае следует ожидать очень высокую износостойкость деталей в абразивной сфере.

Работа выполнена в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

Список литературы

1. Хрущов М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. М.: Наука, 1970. 252 с.
2. Костецкий Б.И. Поверхностная прочность материалов при трении. Киев: Техника, 1976. 292 с.
3. Хрущов М.М. Износостойкость и структура твердых наплавов. М.: Машиностроение, 1971. 95 с.
4. Колмыков В.И., Переверзев В.М. Анализ процесса изнашивания буровых долот, упрочненных карбидной фазой // Повышение эффективности и качества использования недр КМА. Воронеж: ВГУ, 1980. С. 94–98.
5. Gurland I. Observation on the fracture of cementite particles in a spheroid 1,05% steel deformed at room temperature // Abta met. 1972. №5. P. 735–741.
6. Anand, L., Gurland I. Effect of internal boundaries on the yield strengths of spheroid steel // Met.Trans. 1976. A.7. № 2. P. 191–197.
7. Гурланд, Д.Ж. Разрушение материалов с дисперсными частицами в металлической матрице // Разрушение и усталость. М.: Мир, 1978. 58 с.
8. Stuart H., Ridley N. Thermal expansion of some carbides and tessellated stresses in steels // Iron and steel inst. 1970. № 12. P. 1089–1092.
9. Переверзев В.М., Бартенев В.Б. Влияние способа цементации на распределение закалочных напряжений в стали ЧВГ // Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Минск: БПИ, 1977. С. 66–68.
10. Туманов В.И., Конюхова Л.А., Креймер Г.С. Эффективная поверхностная энергия и прочность хрупких сплавов // ФММ. 1974. № 4. С. 843–849.

Bibliographic

1. Khrushchev, M.M. Abrasive wear [Text] / M.M. Khrushchev, M.A. Babichev // Moscow: Nauka, 1970. 252 p.
2. Kostecki, B.I. Surface strength of materials under friction [Text] / B.I. Kostecki // Kiev: Tekhnika, 1976. 292 p.
3. Khrushchev, M.M. Wear resistance and structure of solid surfacing [Text] / M.M. Khrushchev / M: Mechanical Engineering. 1971. 95 p.
4. Kolmykov, V.I. Analysis of the wear process will rovyh-bits, hardened carbide phase [Text] / V.I. Kolmykov, V.M. Pereverzev // In. Improving the efficiency and quality of subsurface MRA. Voronezh: Voronezh State University. 1980. P. 94 – 98.
5. Gurland, I. Observation on the fracture of cementite particles in a spheroid 1,05% steel deformed at room temperature [Text] / I. Gurland // Abta met. 1972. №5. P. 735–741.
6. Anand, L. Effect of internal boundaries on the yield strengths of spheroid steel [Text] / L. Anand, I. Gurland // Met.Trans. 1976. A.7. № 2. P. 191 – 197.
7. Gurland, D.J. The destruction of materials dispersed particles in a metal matrix [Text] D.J. Gurland // in the book. Destruction and the mouth-cavity. Moscow: Mir, 1978. 58 P.
8. Stuart, H. Thermal expansion of some carbides and tessellated stresses in steels [Text] / H. Stuart, N. Ridley // Iron and steel inst. 1970. № 12. P. 1089–1092.
9. Pereverzev, V.M. Influence of cementation on the distribution of quench stresses in steel ChVG [Text] / V.M. Pereverzev, V.B. Bartenev / Chemical - thermal treatment of metals and alloys. Minsk: BPI, 1977. P. 66–68.
10. Tumanov, V.I. Effective on the surface energy and the strength of brittle alloys [Text] V.I. Tumanov, L.A. Konyukhova, G.S. Kramer // PMM. 1974. № 4. P. 843 – 849.

АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА, УСЛОВИЙ ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИ ЗАТВЕРДЕВАНИИ С ОСОБЕННОСТЯМИ СТРОЕНИЯ СПЛАВОВ, ОКИСЛЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ И СВОЙСТВАМИ КОМПЛЕКСНО-ЛЕГИРОВАННЫХ БЕЛЫХ ЧУГУНОВ

В горно-обогатительном производстве существует много оборудования, детали которого работают в условиях повышенных температур и под воздействием ударно-абразивного и абразивного износа (колосники грохотов, спекательных тележек, бронеовые плиты, тушильные вагоны и т.д.). Такие детали должны обладать повышенным комплексом механических и специальных свойств, таких как жаростойкость, износостойкость и др.

Современная техника противокоррозионной защиты располагает рядом эффективных способов для увеличения стойкости металлов и сроков их эксплуатации. Применительно к условиям газовой коррозии одним из наиболее часто используемых способов является жаростойкое легирование.

Хромистые комплексно-легированные чугуны обладают высокой жароизносостойкостью и повышенными механическими свойствами при высоких температурах, которые обеспечиваются особенностями структуры этих чугунов и могут успешно применяться в промышленности в виде жароизносостойкого, жаропрочного литья для изготовления многих видов изделий. В настоящее время в литературе недостаточно проработаны вопросы взаимосвязи химического состава, структуры, механических свойств, износостойкости, жаростойкости и влияния скорости охлаждения при затвердевании на структуру и свойства комплексно-легированных чугунов. Отсутствие таких данных не позволяет достаточно обоснованно разрабатывать составы чугунов, работающих в условиях абразивного изнашивания при повышенных температурах.

Выбор базового легирующего комплекса был сделан на основе анализа имеющихся литературных данных о белых высокохромистых жароизносостойких чугунах и проведенных ранее исследованиях.

Окалиностойкость чугунов находится почти в прямой зависимости от содержания в них хрома. На уменьшение окисления отливок влияние хрома сказывается уже при относительно небольших (0,5–1,5%) добавках. Хром повышает сопротивляемость окислению металлической массы чугуна за счет повышения температуры образования юститной фазы в оксидном слое. При легировании хромом жаростойкость резко повышается, что связано с образованием на поверхности чугуна прочной и тугоплавкой пленки оксида хрома Cr_2O_3 или оксидов шпинельного типа [1].

Углерод в белых жароизносостойких чугунах находится в связанном виде в карбидах легирующих элементов и в твердом растворе. Он является главным регулятором количества карбидов. Содержание углерода в жароизносостойких чугунах изменяется в широких пределах – от 1,7 до 3,6%. Увеличение содержания углерода до 3,6% способствует росту износостойкости чугуна до определенного момента. При более высоком содержании углерода в структуре чугуна появляются крупные заэвтектические карбиды,

которые в процессе износа растрескиваются и выкрашиваются, тем самым снижая износостойкость [2, 3].

Никель обладает более высокой жаростойкостью, чем железо в окислительных средах. Никель в количестве 0,4–2,0% способствует получению стабильной однофазной аустенитной структуры металлической основы, повышает жаростойкость и жаропрочность чугуна, улучшает качество чугунной отливки. Увеличение содержания никеля более 2,0% усиливает графитизацию чугуна, нейтрализует стабилизирующее влияние хрома. При содержании никеля менее 0,4% снижается устойчивость аустенитной структуры и жаростойкость чугуна. Значительное повышение окалиностойкости может быть достигнуто при комплексном легировании хромом и никелем.

Марганец в количестве 3,5–5,0% обеспечивает получение стабильной аустенитной структуры металлической основы, повышает жаростойкость, жаропрочность чугуна. Увеличение содержания марганца более 5,0% приводит к объединению металлической основы чугунов углеродом и хромом, что снижает жаро- и абразивостойкость. При содержании марганца менее 3,5% снижается устойчивость аустенита и жаростойкость чугуна [4].

Титан в количестве 0,27–0,6% способствует измельчению первичной структуры, устраняет столбчатое строение отливок, что позволяет получать однородные механические свойства по толщине отливки, стабилизирует структуру. При содержании титана менее 0,27% стабилизирующее влияние будет незначительное, так как невелико количество карбидов TiC . При содержании титана свыше 0,4% в чугуне образуются пленочные включения оксидов титана больших размеров, которые располагаются по границам аустенитных зерен, что снижает износостойкость чугуна.

Исследовали сплавы системы Fe-C-Cr-Mn-Ni-Ti . Сплавы заливали в три типа форм: сухую, сырую ПГФ и кокиль. Было установлено, что все сплавы являются доэвтектическими, фазовый состав чугунов представляет собой γ -твердый раствор, комплексные карбиды типа $(\text{Fe, Cr, Mn})_7\text{C}_3$ и карбиды TiC . После завершения кристаллизации во всех типах форм в них формируется структура, состоящая из избыточных дендритов аустенита, карбидов титана и аустенитохромистокарбидной эвтектики [5].

При увеличении содержания углерода и хрома растет дисперсность и объемная доля аустенитохромистокарбидной эвтектики, снижается количество и размеры дендритов первичного аустенита.

Было исследовано изменение твердости (HRC), микротвердости металлической основы (HVосн) и эвтектики (HVэвт), износостойкости и окалиностойкости в зависимости от скорости охлаждения (заливка в сухую, сырую песчано-глинистые формы и чугунный кокиль) и химического состава (данные представлены в таблице).

Свойства исследуемых сплавов в зависимости от скорости охлаждения

Номер состава	Сухая форма					Сырая форма					Кокиль				
	HRC, ед.	Kи, ед.	h _{ув} , мм	HV _{осн} , МПа	HV _{звт} , МПа	HRC, ед.	Kи, ед.	h _{ув} , мм	HV _{осн} , МПа	HV _{звт} , МПа	HRC, ед.	Kи, ед.	h _{ув} , мм	HV _{осн} , МПа	HV _{звт} , МПа
1	42	3,8	0,035	4710	8811	42	4,7	0,038	4881	9960	45	5,3	0,018	6230	7988
2	46	5,2	0,025	4603	8750	46	6,2	0,039	4572	9300	47	8,1	0,039	6512	8139
3	43	4,5	0,036	4328	8686	42	4,8	0,02	3581	9278	47	4,9	0,035	5900	7865
4	47	3,8	0,035	4942	8501	44	4,8	0,043	5065	9073	50	6,5	0,024	4300	7586
5	44	3,5	0,02	4873	8559	42	5,5	0,014	3811	7831	47	9,2	0,021	6123	7750
6	48	4,3	0,035	5512	8505	51	4,7	0,019	4047	10600	53	9	0,039	6533	8828
7	45	3,6	0,02	5664	11433	44	5,1	0,013	4175	8418	47	6,9	0,028	6013	5965
8	47	3,4	0,021	5543	10200	49	5,3	0,014	4213	10145	52	8,4	0,029	6225	6923
9	46	3,6	0,028	5625	8634	46	5,6	0,032	4125	9500	51	8,9	0,047	4597	12675

Наибольшее влияние на твердость и износостойкость сплавов оказывает углерод и хром, остальные элементы влияют незначительно. Это можно объяснить тем, что именно хром и углерод являются главными регуляторами изменений структуры матрицы и количества упрочняющей фазы. С увеличением содержания хрома и углерода износостойкость увеличивается.

При заливке в кокиль происходит повышение микротвердости металлической матрицы и эвтектики, твердости и износостойкости чугунов за счет изменения объема карбидной фазы. Максимальной износостойкостью обладают чугуны, залитые в кокиль, так как карбиды измельчаются, более равномерно распределяются в матрице и при абразивном изнашивании прочно удерживаются ею. С увеличением скорости охлаждения снижается количество и размеры дендритов первичного аустенита, растет дисперсность и объемная доля карбидов типа $(Fe, Cr, Mn)_7C_3$, что приводит к увеличению износостойкости.

Падение окалинстойкости с увеличением скорости охлаждения связано с тем, что растет доля карбидов в структуре, а следовательно, происходит обеднение твердого раствора хромом.

После испытания на окалинстойкость анализ макроструктуры образцов показал, что на чугунах присутствует три вида оксидных пленок: плотная сплошная оксидная пленка, рыхлая с трещинами и разрывами и разрушившаяся пленка, которая не препятствовала дальнейшему окислению металла. Электронные микрофотографии окисленной поверхности представлены на рис. 1.

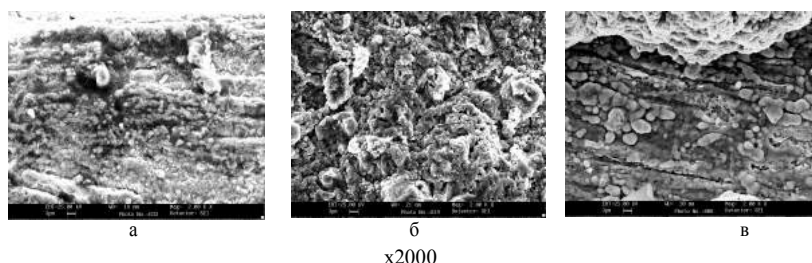


Рис. 1. Электронные микрофотографии образцов: а – плотная сплошная оксидная пленка; б – рыхлая с трещинами и разрывами; в – разрушившаяся пленка

Определили распределение элементов по глубине оксидных слоев. При содержании в чугуне 15% хрома в оксидном слое его около 15%. На поверхности та-

ких чугунов формируется неплотная рыхлая оксидная пленка, что приводит к увеличению глубины проникновения коррозии и снижению окалинстойкости. При содержании хрома в сплаве более 19% в оксидной пленке его концентрация более 30%. В результате на поверхности образуется плотная сплошная оксидная пленка. Глубина проникновения коррозии снижается, увеличивается окалинстойкость.

В чугунах обнаружен эффект наследования состава оксидной пленки в зависимости от распределения хрома в поверхностном слое сплавов до окисления (рис. 2). Структура оксидной пленки определяется структурой сплава: участок 1 соответствует эвтектике; 2 – металлической основе; 3 – карбиду TiC. Частицы карбидов хрома препятствуют росту пленки, там, где есть карбиды хрома, пленка тоньше.

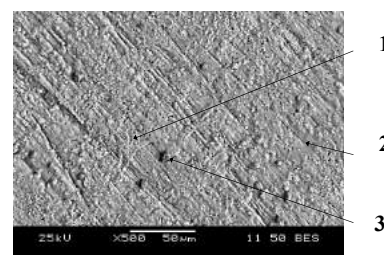


Рис. 2. Микроструктура исследуемых чугунов

Таким образом, окалинстойкость зависит не только от химического состава сплава, но и от особенностей его структуры. Поэтому, увеличивая плотность хромистой эвтектики при сохранении достаточной легированности хромом металлической матрицы, можно повысить окалинстойкость белых чугунов.

Дальнейшего повышения свойств нового состава чугунов добивались за счет дополнительного его легирования ниобием и алюминием в количестве до 3% каждого порознь и совместно.

Ниобий, в исследуемых сплавах, предназначен для образования как собственных, так и комплексных карбидов. Ниобий обеспечивает повышение микротвердости металлической основы и карбидов типа M_7C_3 , улучшает морфологию карбидной фазы и существенно увеличивает

твердость сплава. Повышаются износостойкость и жаростойкость, твердость чугуна. Это связано с увеличением объемной доли карбидов ниобия, а также увеличением микротвердости структурных составляющих. Происходит резкое уменьшение среднего размера карбидов хрома, и они приобретают компактные формы, что обеспечивает хорошее сцепление карбидов с металлической основой.

Результаты исследований показали, что наибольшие ростоустойчивость и окалиностойкость наблюдаются при 1,0–1,5% Nb. Это объясняется стабилизирующим воздействием ниобия на структурные составляющие чугуна, а также обогащением металлической основы хромом.

Отрицательное влияние на окалиностойкость при Al до 2% объясняется тем, что происходит повышение концентраций вакансий в окалине вследствие частичного замещения двухвалентных атомов железа и никеля трехвалентными атомами алюминия. Повышение числа вакансий влечет за собой ускорение диффузии кислорода к поверхности металла. Кроме того, падение окалиностойкости, с увеличением содержания Al, связано с переходом металлической матрицы от однофазной – аустенитной в смесь двух растворов (α-фаза + γ-фаза). Существенное повышение окалиностойкости наблюдается при введении в сплав 2,5–3,0% Al. Это связано с образованием шпинели $\text{FeO}(\text{Cr}_2\text{O}_3, \text{Al}_2\text{O}_3)$, а также с увеличением количества легированного феррита и приближением металлической основы к однородной при $\text{Al} > 2,5\%$ [6].

Таким образом, одновременному повышению всех специальных свойств данные элементы не способствуют. Поэтому легирование тем или иным элементом определяется тем, какое специальное свойство превалирует при эксплуатации отливок из данных чугунов.

Было решено исследовать совместное влияние алюминия и ниобия на структуру и свойства КЛБ. Содержание алюминия и ниобия менялось от 1 до 3% каждого, было отлито 9 составов в три типа литейных форм. Были исследованы зависимости твердости (HRC), окалиностойкости ($h_{ув}$) и коэффициента относительной износостойкости ($K_{и}$) от параметров карбидной фазы: микротвердости эвтектики ($HV_{эвт}$); объемной доли карбидов титана и ниобия ($V_{V_{нетр}}$); объемной доли карбидов хрома ($V_{V_{тр}}$); длины карбидов (L_k); размера карбидов (A_k) и расстояния между карбидами (Δl_k).

Методом множественного и парного регрессионного анализа получены адекватные уравнения регрессии:

$$K_{и} = 1,2088 + 1,4879HV_{эвт} - 1,6187V_{V_{нетр}} - 0,03V_{V_{тр}} - 0,3449L_k + 0,1240A_k + 0,0794\Delta l_k - 0,0952HV_{эвт}^2 + 0,2421V_{V_{нетр}}^2 - 0,0009V_{V_{тр}}^2 + 0,0438L_k^2 - 0,0112A_k^2 - 0,0009\Delta l_k^2, \text{ ед.}$$

$$(F_{расч}=7,4, \quad F_{табл}=3,81); \quad (1)$$

$$HRC = 39,8123 + 0,9250HV_{эвт} + 1,8056V_{V_{нетр}} + 0,7391V_{V_{тр}} - 0,3653L_k - 0,4023A_k - 0,1375\Delta l_k - 0,0490HV_{эвт}^2 - 0,1754V_{V_{нетр}}^2 - 0,0305V_{V_{тр}}^2 - 0,0172L_k^2 + 0,0440A_k^2 + 0,0014\Delta l_k^2, \text{ ед.}$$

$$(F_{расч}=4,68, \quad F_{табл}=3,81); \quad (2)$$

$$h_{ув} = -0,0398 + 0,0057HV_{эвт} + 0,0025V_{V_{нетр}} + 0,0054V_{V_{тр}} + 0,0002L_k + 0,0083A_k - 0,0012\Delta l_k - 0,0005HV_{эвт}^2 + 0,0005V_{V_{нетр}}^2 - 0,0002V_{V_{тр}}^2 - 0,0000077L_k^2 - 0,0004A_k^2 + 0,000022\Delta l_k^2, \text{ г/м}^2\text{ч}$$

$$(F_{расч}=4,10, \quad F_{табл}=3,81)/ \quad (3)$$

Используя полученные математические зависимости (1) – (3) и нейросетевую программу «Модель», были определены численные значения коэффициентов и ряды влияния параметров микроструктуры на свойства чугунов.

По силе влияния на твердость, окалиностойкость и износостойкость характеристики микроструктуры можно расположить в следующие ряды, в порядке уменьшения:

$$h_{ув} : HV_{эвт} \rightarrow A_k \rightarrow V_{V_{тр}} \rightarrow V_{V_{нетр}} \rightarrow \Delta l_k \rightarrow L_k$$

$$0,278 \quad 0,205 \quad 0,204 \quad 0,183 \quad 0,08 \quad 0,051$$

$$K_{и} : \Delta l_k \rightarrow HV_{эвт} \rightarrow V_{V_{нетр}} \rightarrow A_k \rightarrow V_{V_{тр}} \rightarrow L_k$$

$$0,295 \quad 0,222 \quad 0,204 \quad 0,145 \quad 0,09 \quad 0,045$$

$$HRC : \Delta l_k \rightarrow V_{V_{нетр}} \rightarrow HV_{эвт} \rightarrow V_{V_{тр}} \rightarrow A_k \rightarrow L_k$$

$$0,283 \quad 0,259 \quad 0,192 \quad 0,162 \quad 0,097 \quad 0,006$$

На основе рассмотренных весовых коэффициентов и уравнений регрессии было установлено, что наиболее сильно и положительно на свойства влияют такие характеристики микроструктуры, как микротвердость эвтек-

тики (HV_{эвт}), размер карбидов (Ак), расстояние между карбидами (Δк), объемная доля карбидов титана и ниобия (V_{внтр}); объемная доля карбидов хрома (V_{втр}).

Оптимизация параметров микроструктуры была проведена с помощью средств статистического анализа данных Microsoft Excel (пакеты анализа), предназначенных для решения сложных статистических задач.

На основе полученных результатов был получен новый состав чугуна, литейный износостойкий чугун может успешно применяться для изготовления деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного износа при высоких температурах, например колосников грохотов и спекательных тележек, броней желоба агломерата, облицовочных плит тушильных вагонов и т.д.

Список литературы

1. Александров Н.Н., Клочнев Н.И. Технология получения и свойства жаростойких чугунов. М.: Машиностроение. 1964. 170с.
2. Влияние содержания углерода и хрома на свойства высокохромистого чугуна / В.М. Садовский, О.С. Комаров, С.Н. Герцик и др. // Литейное производство. 1998. №5. С. 12-13.
3. Колокольцев В.М. Теоретические и технологические основы разработки литейных износостойких сплавов системы железо-углерод-элемент: дис. ... д-ра. техн. наук. Магнитогорск, 1995. 427 с.
4. Цыпин И.И. Белые износостойкие чугуны. М.: Metallurgy, 1983. 256 с.
5. Колокольцев В.М., Гольцов А.С., Синицкий Е.В. Влияние первичной литой структуры жароизносостойких железоуглеродистых сплавов на их коррозионную стойкость // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2011. № 2. С. 18–23.
6. Миронов О.А. Разработка новых жароизносостойких чугунов для отливок, работающих в условиях повышенных температур, износа и агрессивных газовых сред: дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск, 2007. 156 с.

Bibliography

1. Aleksandrov N.N., Klochnev N.I. Technology of reception and property heat resisting irons. M.: Mechanical engineering. 1964. 170 p.
2. Influence of the maintenance of carbon and chrome on properties high chromical iron / V.M.Sadovsky, O.S.Komarov, S.N.Gertsik, etc. // Foundry manufacture, 1998, №5. pp. 12-13.
3. Kolokoltsev V.M. Teoretic and technological bases of working out of foundry wearproof alloys of system iron-carbon-element: Dis. Drs. tech. sciences. Magnitogorsk, 1995. – 427 p.
4. Cipin I.I. white wearproof irons. M.: Metallurgy, 1983.-256 p.
5. Kolokoltsev V. M., Goltsov A. S., Sinitsky E.V. Influence of the primary cast structure of heat-wear-resistant iron alloys on their corrosion resistance // Vestnik MSTU named after G. I. Nosov. 2011. № 2. P. 18–23.
6. Mironov O. A. Working out new heat- and wear resistant irons for castings, working in the conditions of the raised temperatures, deterioration and aggressive gas environments: Dis. Cand.tech. sciences. Magnitogorsk, 2007. 156 p.

СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ

УДК 658.562.012.7

Черкасов К.Е., Румянцев М.И., Черкасов М.Е., Якушев Е.В., Карагодин Ю.И., Бочков Д.Г.

ПОВЫШЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ СТАТИСТИЧЕСКОГО ПРИЁМОЧНОГО КОНТРОЛЯ ПО СВЯЗИ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ ЗА СЧЕТ МОДЕРНИЗАЦИИ КОМПЛЕКСА НЕЗАВИСИМЫХ ПЕРЕМЕННЫХ НА ПРИМЕРЕ ТОЛСТОЛИСТОВОГО ПРОКАТА ДЛЯ ОАО «ГАЗПРОМ»

Необходимость внедрения и применения статистических методов контроля качества продукции возникла в связи с требованием стандартов СТО Газпром серии 9000, один из которых [1] предусматривает применение в организациях, поставляющих продукцию для нужд нефтегазового комплекса, статистических методов управления качеством. Как и в международных технических условиях для автомобилестроения [2], целью применения статистических методов в системе менеджмента качества организации-поставщика является необходимость объективного и достоверного подтверждения возможности производства продукции и достижения ее требуемых характеристик. При этом актуален вопрос выбора наиболее эффективных методов.

Одним из основных методов статистического контроля является применение уравнений регрессии зависимости свойств проката от таких факторов, как химический состав металла и параметры процесса его обработки (скорость прокатки, температура и т. д.). Однако традиционные независимые переменные, применяемые для построения уравнений, далеко не всегда способны обеспечить статистическую надёжность данных уравнений. Остается достаточно большая вероятность ошибки как приёмы негодной продукции, так и отбраковки продукции надлежащего качества. Чтобы предотвратить указанные события, необходимо повысить достоверность результатов контроля, что может быть достигнуто за счет увеличения точности и достоверности применяемых уравнений регрессии [3].

Улучшение уравнений по точности и достоверности можно сделать за счет включения в них факторов, степень влияния которых на отклики выше, чем тех, которые традиционно применяются в статистических зависимостях. В связи с этим был произведен поиск такого комплекса факторов (независимых переменных) в уравнениях для статистического приёмочного контроля, который способствовал бы повышению точности прогноза свойств [4]. В частности, температурные условия процесса характеризовали отклонением температуры конца прокатки от температуры начала $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения:

$$\Delta_3 = t_{\text{кп}} - Ar_3; \quad (1)$$

отклонением температуры начала ускоренного охлаждения от температуры начала $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения:

$$\Delta_1 = t_{\text{нво}} - Ar_3; \quad (2)$$

отклонением температуры начала ускоренного охлаждения от температуры конца $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения:

$$\Delta_1^* = t_{\text{нво}} - Ar_1; \quad (3)$$

отклонением температуры конца ускоренного охлаждения от температуры начала $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения:

$$\Delta_2 = t_{\text{кво}} - Ar_3; \quad (4)$$

отклонением температуры конца ускоренного охлаждения от температуры конца $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения:

$$\Delta_2^* = t_{\text{кво}} - Ar_1. \quad (5)$$

Модернизированные уравнения и уравнения, построенные относительно традиционных независимых переменных, были оценены по количеству совпадений с данными прямых разрушающих испытаний. Результаты оценки представлены в табл. 1.

Таблица 1

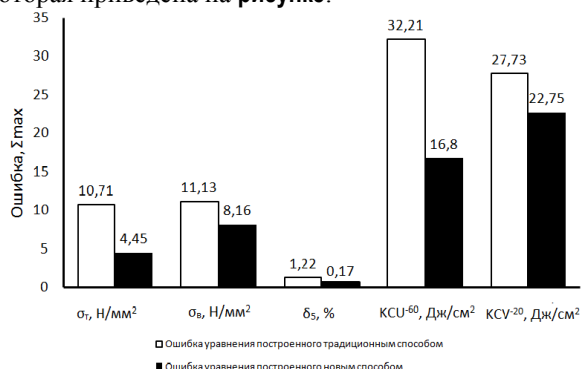
Результаты сравнения точности расчетных оценок качества проката толщиной 9,0–16,8 мм из стали класса прочности К60 с оценками, полученными разрушающим методом

Свойства	Количество совпадений, %	
	Традиционные уравнения	Модернизированные уравнения
σ_T , Н/мм ²	97	99,8
σ_B , Н/мм ²	46	98,9
δ_5 , %	23	99,95
KCU^{-60} , Дж/см ²	99,9	99,93
KCV^{-20} , Дж/см ²	99,91	99,95

Из табл. 1 можно сделать вывод, что предлагаемые уравнения, в целом, обеспечивают заметно больше число совпадений с результатами прямых испытаний. Таким образом, применение уравнений, построенных с использованием модернизированного комплекса факторов, действительно повышает достоверность статистического приёмочного контроля механических свойств толстолистового проката. Тем самым создаются предпосылки для уменьшения вероятности ошибок выводов относительно годности не только оцениваемой партии продукции, но и каждого листа в отдельности, а также для значительного повышения оператив-

ности выполнения заказов за счет исключения потерь времени на проведение прямых испытаний.

Для наглядного сравнения ошибок полученных уравнений была построена гистограмма сравнения, которая приведена на рисунке.



Ошибки традиционных и предлагаемых уравнений для статистического приемочного контроля мехсвойств толстолистового проката

Из диаграммы видно, что ошибки уравнений, построенных на основе предлагаемого комплекса зависимых переменных, ниже, чем традиционных уравнений. Следовательно, достоверность прогноза качества получаемой продукции по модернизированным уравнениям выше, чем по традиционным.

Другим методом статистического приёмочного контроля могут быть искусственные нейронные сети. Известно, что нейронные сети применимы практически в любой ситуации, когда имеется связь между входными и прогнозируемыми переменными, даже если эта связь имеет сложную природу и её трудно отобразить методами нелинейного регрессионного анализа [5]. Как показывает известный опыт, например [6], точность прогноза свойств проката с использованием нейронной сети действительно выше, чем получаемая по множественной линейной аппроксимации при традиционном наборе независимых переменных.

Провели сравнение точности прогноза свойств проката с использованием нейронных сетей различного типа при использовании в качестве независимых переменных как традиционных, так и усовершенствованных характеристик факторов технологического процесса. Из сравнения различных сетей был выбран тип нейронной сети на основе множественного персептрона с использованием алгоритма Левенберга-Маркара. Результаты сравнения для вариантов такой сети, отличающихся набором независимых переменных, приведены в табл. 2. Нейронная сеть, построенная с использованием модернизированного набора независимых переменных, обеспечивает более высокие показатели точности прогноза.

Таким образом, и для уравнений регрессии, и для нейронных сетей замена традиционных показателей, характеризующих условия получения проката, такими факторами, степень влияния которых на отклики выше, действительно обеспечивает заметное повышение точности прогноза свойств проката. При наличии программного обеспечения, позволяющего строить, обучать и применять нейронную сеть на основе множественного персептрона с применением алгоритма Левенберга-Маркара, для совершенствования статистиче-

ского приемочного контроля следует рекомендовать применение такой сети на основе модернизированного комплекса характеристик процесса. В случае отсутствия технических возможностей применения нейронной сети, статистический приемочный контроль рекомендуется производить с использованием уравнений регрессии, построенных с использованием модернизированного комплекса характеристик процесса.

Таблица 2
Результаты сравнения нейронных сетей для проката толщиной 9,0–16,8 мм из стали класса прочности K60 с оценками, полученными разрушающим методом

Свойства	Традиционные факторы		Модернизированные характеристики	
	Корреляция	Ошибка обучения	Корреляция	Ошибка обучения
$\sigma_T, \text{Н/мм}^2$	0,62	0,165	0,8	0,103
$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	0,68	0,128	0,84	0,09
$\delta_5, \%$	0,7	0,130	0,8	0,09
$KCU^{-60}, \text{Дж/см}^2$	0,87	0,112	0,93	0,08
$KCV^{-20}, \text{Дж/см}^2$	0,46	0,226	0,92	0,09

Список литературы

- СТО ГАЗПРОМ 9000-2006. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. М.: ОАО «ГАЗПРОМ», 2006. 17 с.
- ГОСТ Р 51814.1-2004 (ИСО/ТУ 16949:2002). Системы качества в автомобилестроении. Системы качества для предприятий – поставщиков автомобильной промышленности. Общие требования. М.: Изд-во стандартов, 2004. 35 с.
- Румянцев М.И., Ручинская Н.А. Статистические методы для обработки и анализа числовой информации, контроля и управления качеством продукции: учеб. пособие. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2008. 207 с.
- Повышение точности статистического контроля качества толстолистового проката по корреляционной связи между параметрами / Румянцев М.И., Черкасов К.Е., Попкова А.А.; ГОУ ВПО «Магнитогорск. гос. техн. ун-т». Магнитогорск, 2010. 11 с.: Библиогр. 6 назв. Рус. Деп. в ВИНТИ 30.09.2010, №563-B2010.
- Нейронные сети. Методология и технологии современного анализа данных / под ред. В.П. Боровикова. 2-е изд., перераб. в доп. М.: Горячая линия – Телеком, 2008. 392 с.
- Нейросетевое моделирование механических свойств проката из низколегированных сталей / В.М. Салганик, А.М. Песин, В.В. Жгудов и др. // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: межрегион. сб. науч. трудов. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. С. 109–114.

Bibliography

- OST GAZPROM of 9000-2006 Systems of quality management. Substantive provisions and the dictionary. M: JSC "GAZPROM", 2006, 17 with.
- GOST R 51814.1-2004 (iso / Specification 16949:2002) Systems of quality and motor industry. Systems of quality for the enterprises – suppliers of motor industry. The general requirements. M: Standards Publishing House, 2004. 35 p
- Rumjantsev M. I., Ruchinsky N.A. statistical methods for processing and the analysis of the numerical information, control and product quality control: the Manual. – Magnitogorsk: « Government Technical University of Magnitogorsk. Magnitogorsk», 2008. 207 p.
- Increase of accuracy of statistical quality assurance plate iron hire on correlation communication between parameters / Rumjantsev M. I., Cherkasov K.E., Popkova A.A.; Government Technical University of Magnitogorsk. – Magnitogorsk, 2010. – 11 p.: Deposit In All-Russian Institute of Scientific and Technical Information 9/30/2010, №563-B2010
- Neural networks. Methodology and technologies of the modern analysis given/under by V.P.Borovikova's edition. 2 изд., the reslave. M: the Hot line – a Telecom, 2008. 392 p.
- V.M.Salganik, A.M.Pesin, V.V.Zhludov, etc. Neirosetevoe modeling of mechanical properties of hire from low alloy steels. Modeling and development of processes of processing of metals by pressure: the inter-regional collection of proceedings. Magnitogorsk: Government Technical University of Magnitogorsk, 2007, p. 109–114.

НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

УДК 531.43/46

Анцупов А.В., Чукин М.В., Анцупов А.В.(мл.), Анцупов В.П.

НАУЧНЫЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ТРИБОСОПРЯЖЕНИЙ НА СТАДИИ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Анализ подходов к прогнозированию надежности технических систем [1–3], а также базовые, основополагающие понятия технической диагностики (ГОСТ 20911), теории надежности (ГОСТ 27.002-89) и трибологии (ГОСТ 27674, 30858) позволяют сформулировать общие методологические принципы процедуры прогнозирования показателей безотказности и долговечности трибосопряжений [4].

На наш взгляд, предлагаемая методология прогнозирования надежности трибосистем, как совокупность основополагающих теоретических положений (научная основа) процесса построения модели их отказа – математического описания процесса формирования закона надежности на стадии проектирования, независимо от вида проектируемого трибосопряжения, должна включать следующую последовательность операций (этапов прогнозирования):

I. Обоснованный выбор базового параметра состояния трибосопряжения, значение которого, изменяющееся во времени при изнашивании трибозаэлементов, позволяет предсказывать его поведение (смену состояний) в течение всего периода эксплуатации. (Если выбирается несколько параметров, излагаемая методика реализуется для каждого из них.)

II. Формулирование уравнения состояний сопряжения в общем виде – выбор зависимости параметра состояния от одного из показателей износостойкости, моделирующей смену его состояний при изнашивании элемента (элементов).

III. Разработка модели изнашивания элементов сопряжения и вывод уравнений для описания закономерности изменения их износа во времени.

IV. Формулирование условия работоспособности трибосопряжения, отражающего закономерность изменения параметра состояния во времени до момента перехода его в предельное состояние, т.е. область всех возможных работоспособных состояний сопряжения.

V. Вывод уравнений для оценки показателей надежности трибосопряжения на произвольный момент времени будущей эксплуатации:

- коэффициентов запаса надежности, если параметр состояния является детерминированной величиной;
- вероятности безотказной работы – вероятности выполнения условий работоспособности, если параметр состояния является случайной величиной, распределенной на этот момент времени по установлен-

ному закону, определяющих закон формирования износных отказов сопряжения при решении прямой задачи теории надежности.

VI. Формулирование уравнения перехода трибосопряжения в предельное состояние (состояние параметрического отказа) по выбранному параметру, отражающего область всех возможных предельных состояний сопряжения.

VII. Вывод уравнений для оценки ресурсных характеристик трибосопряжения при решении обратной задачи теории надежности:

- предельной наработки до отказа, если параметр состояния является детерминированной величиной;
- гамма-процентного, среднего и гарантированного ресурса, если параметр состояния является случайной величиной с установленным законом распределения.

Очевидно, что методологической основой процесса прогнозирования надежности трибосистем является разработка совокупности базовых уравнений и условий, моделирующих:

- их будущее поведение (смену состояний) во времени при установленном (разработанном) законе изнашивания элементов в предполагаемых условиях эксплуатации;
- переход их в предельное состояние;
- формирование закона надежности.

Последующий анализ и решение полученных уравнений позволяет решать прямую и обратную задачи теории надежности трибосистем на стадии проектирования – предсказывать значения показателей безотказности для установленного ресурса или прогнозировать ресурс для заданного уровня надежности трибосопряжения.

Изложенный выше общий методологический подход может быть реализован в детерминистической (аналитической) или вероятностной (стохастической) форме для сопряжений, изнашивание которых подчиняется различным закономерностям.

Ниже он представлен в виде вероятностной методики прогнозирования надежности «стационарных» трибосопряжений, работающих в установившемся режиме изнашивания, когда периодом приработки можно пренебречь.

Этапы методики сформулируем согласно изложенному выше алгоритму.

1 этап. Для проектируемого вида сопряжений и

предполагаемых условий эксплуатации согласно стандартному, по ГОСТ 20911 и [4], определению «состояние объекта – совокупность количественных значений параметров, описывающих объект в любой момент времени», в качестве *основного параметра* X_t состояния выбираем изменяющийся при эксплуатации *размер* наиболее изнашиваемой детали или *сочетание размеров* деталей, полагая его случайной величиной.

2 этап. Представляем в общем виде *уравнение состояний* сопряжения – зависимость случайного параметра X_t сопряжения в функции случайной величины линейного износа Y_t элемента (элементов), моделирующую смену его состояний при изнашивании. Оно может быть записано в виде одного из возможных выражений:

$$X_t = X_0 + Y_t \text{ или } X_t = X_0 - Y_t, \quad (1)$$

где X_0 – случайная величина параметра X_t состояния сопряжения в момент времени $T = t_0$.

Случайные величины в условии (1) согласно центральной предельной теореме теории вероятностей распределены по нормальному закону [2, 5, 6].

3 этап. Принимаем линейную *модель процесса изнашивания* элементов «стационарного» сопряжения:

$$Y_t = \Gamma_y \cdot t, \quad (2)$$

отражающую закономерность изменения их линейного износа Y_t во времени с постоянной скоростью Γ_y .

4 этап. В соответствии со стандартным, по ГОСТ 27.002-89, определением «*работоспособность – состояние* объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих его способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям НТД», математически формулируем *условие работоспособности* трибосопряжения:

– в общем виде

$$X_t < x_{np} \text{ или } X_t > x_{np}. \quad (3 \text{ а})$$

– в развернутом виде с учетом (1) и (2)

$$\begin{aligned} X_t &= X_0 + \Gamma_y \cdot t < x_{np} \text{ или} \\ X_t &= X_0 - \Gamma_y \cdot t > x_{np}, \end{aligned} \quad (3 \text{ б})$$

где каждое из них отражает закономерность изменения параметра состояния X_t во времени до момента достижения им предельного значения x_{np} , т.е. область всех возможных работоспособных состояний сопряжения.

Предельное значение выбранного параметра $X_t = x_{np}$ состояния сопряжения определяем из нормативных документов или из опыта эксплуатации.

5 этап. При решении прямой задачи используем известные уравнения для оценки вероятности безотказной работы $P(t)$ сопряжения в любой фиксированный момент времени $T = t$, как вероятности выполнения условий работоспособности (3) (**рис. 1**):

$$\begin{aligned} P(t) &= P(X_t < x_{np}) = F_t(x_{np}) = F(u_{np(t)}) = \Phi(u_{np(t)}) = \Phi\left(\frac{x_{np} - \bar{x}_t}{\sigma_{xt}}\right) \text{ или} \\ P(t) &= P(X_t > x_{np}) = 1 - F_t(x_{np}) = 1 - F(u_{np(t)}) = 1 - \Phi(u_{np(t)}) = 1 - \Phi\left(\frac{x_{np} - \bar{x}_t}{\sigma_{xt}}\right), \end{aligned} \quad (4)$$

где $u_{np(t)}$ – значение квантили нормального нормированного распределения случайной величины U_t определяем согласно известному [7] правилу нормирования размерных случайных величин.

$$u_{np(t)} = \frac{x_{np} - \bar{x}_t}{\sigma_{xt}}. \quad (5)$$

Переход от нормального распределения размерной случайной величины X_t , характеризуемой функциями:

$$\begin{aligned} f(x_t) &= \frac{1}{\sigma_{xt} \sqrt{2 \cdot \pi}} \exp\left(-\frac{(x_t - \bar{x}_t)^2}{2 \cdot \sigma_{xt}^2}\right) \text{ и} \\ F(x_t) &\approx \int_0^{\infty} f(x_t) \cdot dx_t, \end{aligned} \quad (6)$$

к нормированному нормальному распределению случайной величины $U_t = (X_t - \bar{x}_t) / \sigma_{xt}$, характеризуемой функциями:

$$\begin{aligned} f(u_t) &= \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \exp\left(-\frac{u_t^2}{2}\right) \text{ и} \\ F(u_t) &= \int_0^{\infty} f(u_t) \cdot du_t, \end{aligned} \quad (7)$$

показан на **рис. 1**, А, Б.

Здесь $\bar{x}_t$ и σ_{xt} – числовые характеристики случайной величины X_t для каждого фиксированного момента времени $T = t$, определяем согласно (1) и (2), см. **рис. 1**, А, Б:

– математическое ожидание

$$\bar{x}_t = \bar{x}_0 + \bar{\gamma}_y \cdot t \text{ или } \bar{x}_t = \bar{x}_0 - \bar{\gamma}_y \cdot t; \quad (8)$$

– среднее квадратическое отклонение

$$\sigma_{xt} = \sqrt{\sigma_{x0}^2 + \sigma_y^2 \cdot t^2}. \quad (9)$$

В условиях (8) и (9) числовые характеристики случайного параметра $X_t = X_0$ состояния трибосопряжения на начальный момент времени $T = t_0$ оцениваем по рабочим чертежам трибосопряжения:

$$\bar{x}_0 = (x_{0\max} + x_{0\min}) / 2; \quad \sigma_{x0} = (x_{0\max} - x_{0\min}) / 6. \quad (10)$$

Максимальное и минимальное значения $x_{0\max}$, $x_{0\min}$ проектного размера X_0 элементов (или их сочетания) трибосопряжения определяются границами полей допусков, установленных конструктором.

Значения числовых характеристик случайной величины скорости линейного изнашивания Γ_y ($\bar{\gamma}_y$ и

σ_γ) в условиях (8) и (9) определяем по методике работ [5, 6] при создании универсальной модели изнашивания «стационарных» трибосопряжений.

Уравнения (4) для оценки вероятности $P(t)$ безотказной работы (или вероятности отказа $F(t) = 1 - P(t)$) трибосопряжения в любой момент $T =$

t времени будущей эксплуатации при решении прямой задачи теории надежности, по сути, представляют закон $f(t) = -dP/dt$ надежности – математическое описание процесса формирования его износовых отказов.

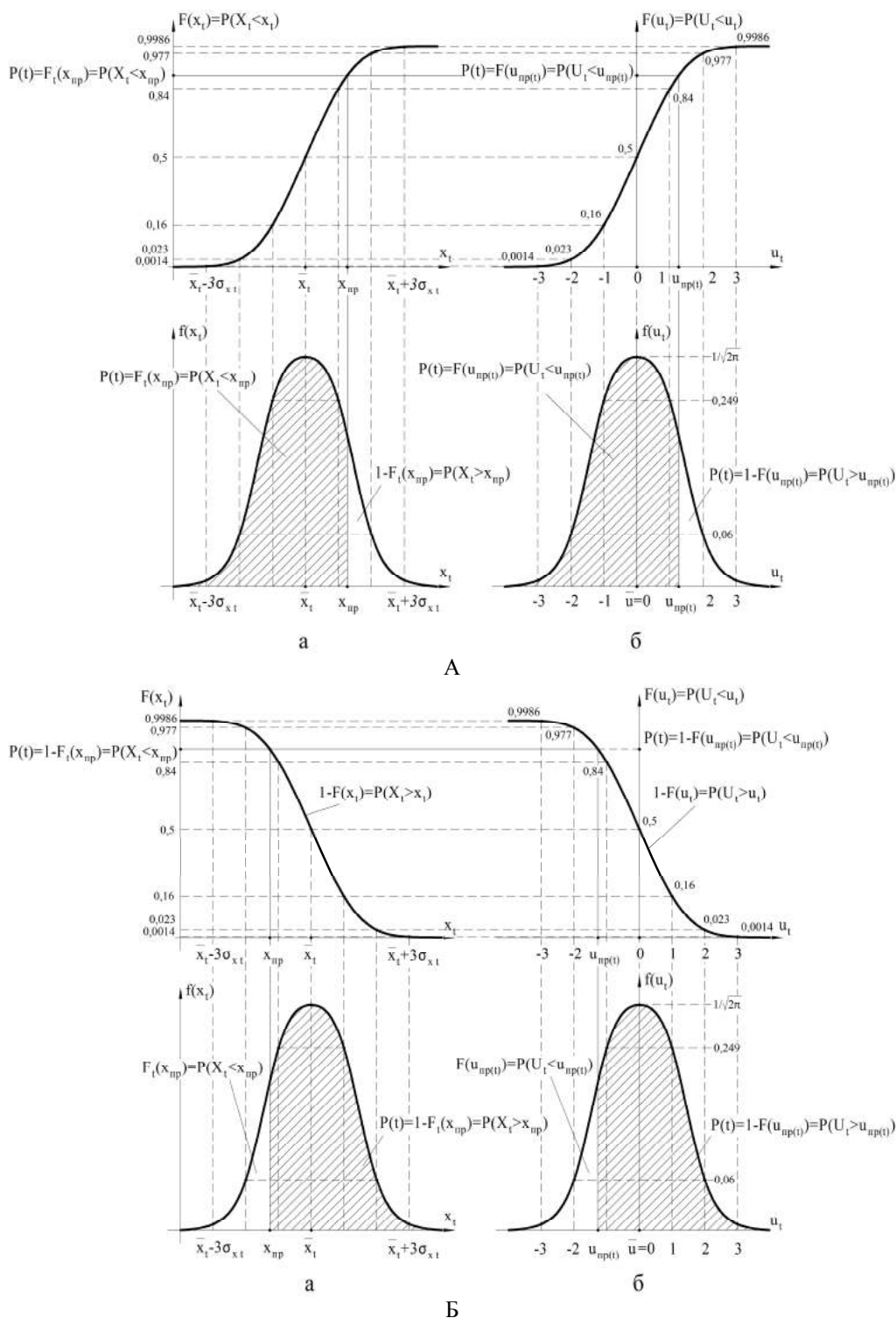


Рис. 1. К определению вероятности безотказной работы «стационарных» сопряжений в любой фиксированный момент времени $T = t$

6 этап. Формулируем условие перехода трибосопряжения в предельное состояние (состояние параметрического отказа), отражающее область всех возможных предельных состояний сопряжения:

– в общем виде

$$X_t = x_{np}; \quad (11 \text{ а})$$

– в развернутом виде

$$\begin{aligned} X_t &= X_0 + Y_t = X_0 + \Gamma_{y_t} \cdot t = x_{np} \quad \text{или} \\ X_t &= X_0 - Y_t = X_0 - \Gamma_{y_t} \cdot t = x_{np}. \end{aligned} \quad (11 \text{ б})$$

7 этап. Выводим зависимости для оценки ресурсных характеристик «стационарных» трибосопряжений, решая обратную задачу теории надежности (рис. 2).

Гамма-процентную наработку t_γ до отказа (между отказами) оцениваем следующим образом. Сначала по классу надежности трибосопряжения [2] задаем предельно допустимое значение вероятности безотказной работы $[P(t)] = \gamma$. Затем по этому значению находим соответствующее табличное значение квантили $[u_{np(\gamma)}]$.

Подставляя его в выражение (5) и учитывая (8) и (9), получаем уравнение для определения t_γ :

$$\begin{aligned} [u_{np(\gamma)}] &= \frac{x_{np} - (\bar{x}_0 + \bar{\gamma}_y \cdot t_\gamma)}{\sqrt{\sigma_{x_0}^2 + \sigma_y^2 \cdot t_\gamma^2}} \quad \text{или} \\ [u_{np(\gamma)}] &= \frac{x_{np} - (\bar{x}_0 - \bar{\gamma}_y \cdot t_\gamma)}{\sqrt{\sigma_{x_0}^2 + \sigma_y^2 \cdot t_\gamma^2}}. \end{aligned} \quad (12)$$

Численное значение гамма-процентной наработки до отказа (ресурса) трибосистемы определим решением первого или второго квадратного уравнения относительно переменной t_γ .

Выражения для оценки средней прогнозируемой наработки $\bar{t}$ до отказа (математического ожидания наработки до отказа) – среднего ресурса, определим из условия (8), решая первое или второе уравнение относительно переменной случайной величины t :

$$\bar{t} = \frac{x_{np} - \bar{x}_0}{\bar{\gamma}_y}, \quad \text{или} \quad \bar{t} = \frac{\bar{x}_0 - x_{np}}{\bar{\gamma}_y}. \quad (13)$$

Подставляя в условия (13) вместо средних значений $\bar{x}_0$ предельно возможные в поле допуска значения начального параметра X_0 трибосопряжения:

$$x_{0\max} = \bar{x}_0 + 3 \cdot \sigma_0^x \quad \text{или} \quad x_{0\min} = \bar{x}_0 - 3 \cdot \sigma_0^x,$$

а также максимально возможное значение скорости Γ_y его изнашивания:

$$\gamma_{y\max} = \bar{\gamma}_y + 3 \cdot \sigma_y,$$

Найдем выражения для оценки гарантированного периода безотказной работы (гарантированного ресурса):

$$t_\Gamma = \frac{x_{np} - x_{0\max}}{\gamma_{y\max}} \quad \text{или} \quad t_\Gamma = \frac{x_{0\min} - x_{np}}{\gamma_{y\max}}. \quad (14)$$

Предельно возможный на любой момент времени $T = t$ запас надежности сопряжения найдем из выражений:

$$\begin{aligned} n_{x_t} &= \frac{x_{np}}{x_{t\max}} = \frac{x_{np}}{x_{0\max} + \gamma_{y\max} \cdot t} \quad \text{или} \\ n_{x_t} &= \frac{x_{t\min}}{x_{np}} = \frac{x_{0\max} - \gamma_{y\max} \cdot t}{x_{np}}. \end{aligned} \quad (15)$$

Графическая интерпретация базовых зависимостей (1) – (15) изложенного методологического подхода на рис. 2 отражает область всех возможных значений параметра X_t состояния «стационарного» трибосопряжения – область всех возможных работоспособных и предельных состояний как решение прямой и обратной задачи теории надежности фрикционных сопряжений, работающих в установившемся режиме трения.

Решение прямой теории надежности «стационарных» трибосопряжений на рис. 1 и 2 графически отражено следующим образом:

– вероятность безотказной работы $P(t) = F_t(x_{np}) = F(u_{np(t)}) = P(T > t)$ трибосопряжения, определяемая по первому (левому) условию (4), на рис. 1, А демонстрирует площадь под кривой $f(x_t)$, лежащая слева от значения $x_t = x_{np}$, и равная ей по величине площадь под кривой $f(u_t)$, лежащая слева от значения $u_t = u_{np(t)}$.

На рис. 2, А это же значение вероятности демонстрирует площадь под кривой $f(x_t)$, лежащая ниже линии – границы $x_t = x_{np}$ (в области работоспособности), и равная ей по величине площадь под кривой $f(t)$, лежащая справа от вертикальной линии – границы $T = t$,

– вероятность безотказной работы $P(t) = 1 - F_t(x_{np}) = 1 - F(u_{np(t)}) = P(T > t)$ трибосопряжения, определяемая по второму (правому) условию (4), на рис. 1, Б демонстрирует площадь под кривой $f(x_t)$, лежащая справа от значения $x_t = x_{np}$, и равная ей по величине площадь под кривой $f(u_t)$, лежащая справа от значения $u_t = u_{np(t)}$.

На рис. 2, Б это же значение вероятности демонстрирует площадь под кривой $f(x_t)$, лежащая выше линии – границы $x_t = x_{np}$ (в области работоспособ-

ности) и равная ей по величине площадь под кривой $f(t)$, лежащая справа от вертикальной линии – границы $T = t$.

Графическая интерпретация совместного решения уравнений (1) и (3 а) представляет собой бесконечное

число точек пересечения несчетного множества графиков зависимостей (1) и линии – границы (3 а). Математически это выражается уравнением (3 б) – уравнением перехода трибосопряжения в предельное состояние – состояние параметрического отказа.

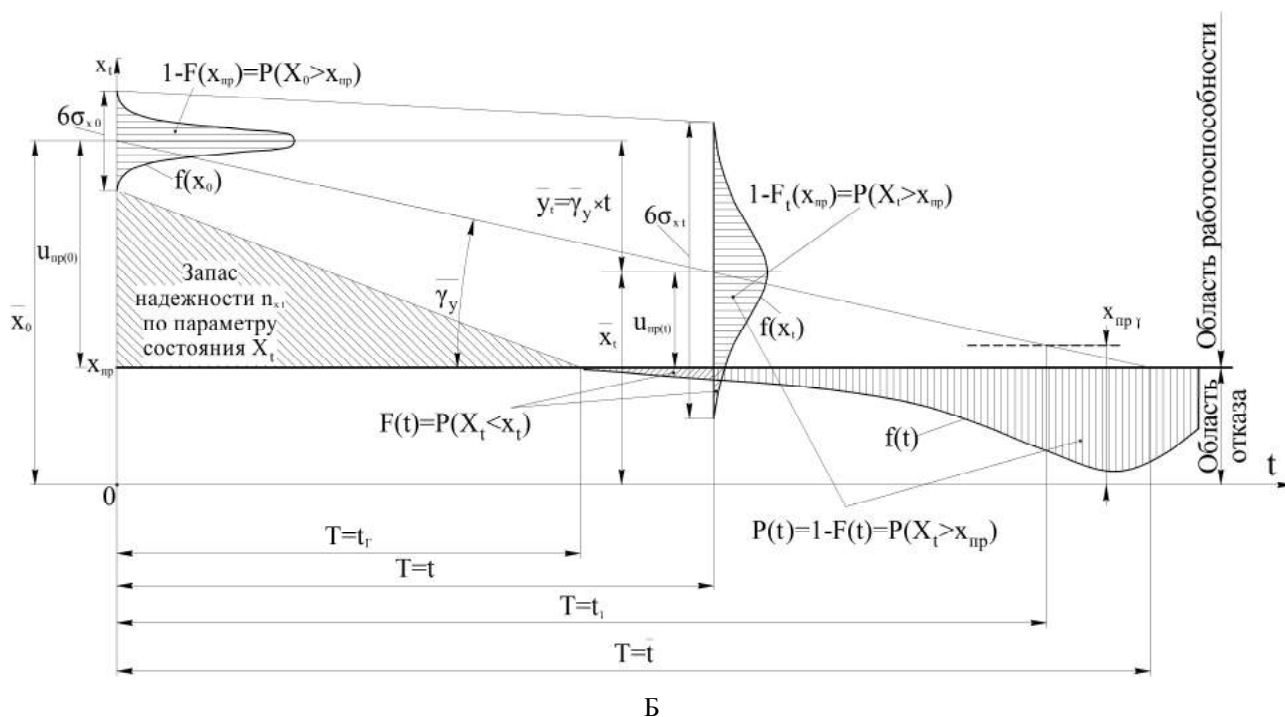
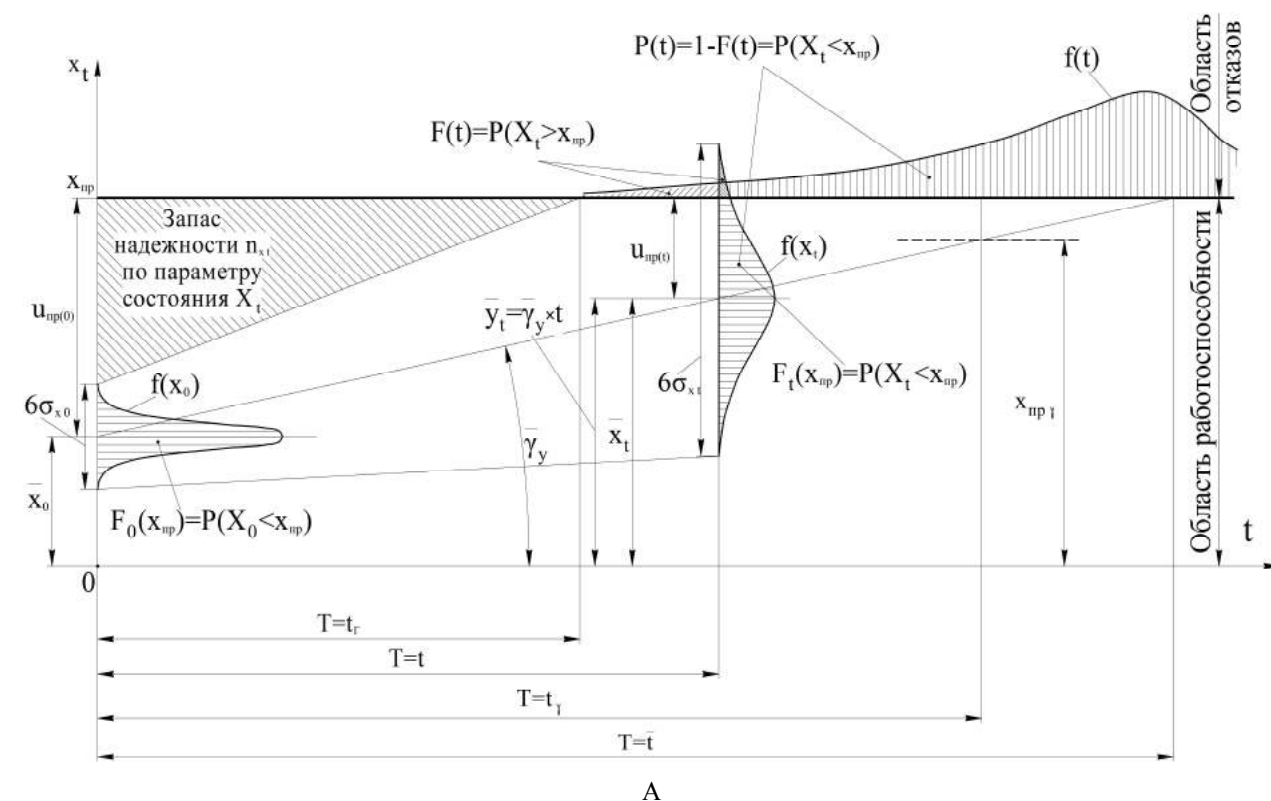


Рис. 2. Графическая интерпретация процесса формирования износных отказов «стационарных» трибосопряжений

Анализ левого и правого уравнений (3 б) позволяет проследить формирование закона надежности $f(t)$ – закона формирования наработок T до отказа (или моментов T отказа) – $T = t$.

Формирование закона надежности $f(t)$ происходит следующим образом. При достижении в условиях (3 б) каждым из несчетного множества возможных значений x_t случайного параметра X_t предельного значения x_{np} :

$$x_t = x_0 + \gamma_y \cdot t = x_{np} \text{ или } x_t = x_0 - \gamma_y \cdot t = x_{np},$$

произойдет его параметрический отказ через некоторый случайный промежуток времени $T = t$ (случайную предельную наработку до отказа):

$$t = (x_{np} - x_0) / \gamma_y \text{ или } t = (x_0 - x_{np}) / \gamma_y.$$

Бесконечное множество этих значений t (как множество предельных наработок) сформирует некоторый закон распределения случайной величины T – закон надежности трибосопряжения $f(t)$, **рис. 2, А, Б**. Ему будут соответствовать собственные интегральная $F(t) = P(T < t)$ и дифференциальная $f(t) = F'(t)$ функции распределения, а также свои числовые характеристики m_t, D_t, σ_t – параметры этого распределения.

Математическое значение $P(t)$ может быть подсчитано с помощью функции нормального нормированного распределения или общей функции Лапласа: $F_t(x_{np}) = F(u_{np(t)}) = \Phi(u_{np(t)})$ по условиям (4).

$$\text{В этом случае закон надежности } f(t) = -\frac{dP(t)}{dt}$$

не подчиняется нормальному распределению [2], он асимметричен и находится в области положительных значений числовой оси t , **рис. 2, А, Б**.

Решение обратной задачи теории надежности – определение ресурсных характеристик «стационарных» трибосопряжений, на **рис. 2, А, Б** графически отражается следующим образом.

Значение гамма-процентной наработки (ресурса) $T = t_\gamma$ графически определяется абсциссой точки пересечения двух графиков зависимостей:

– на **рис. 2, А** абсциссой точки пересечения линии среднего значения $\bar{x}_t = \bar{x}_0 + \bar{\gamma}_y \cdot t$ с линией-границей:

$$x_{np\gamma} = \bar{x}_t + [u_{np(\gamma)}] \cdot \sigma_{xt};$$

– на **рис. 2, Б** абсциссой точки пересечения линии среднего значения $\bar{x}_t = \bar{x}_0 - \bar{\gamma}_y \cdot t$ с линией-границей

$$x_{np\gamma} = \bar{x}_t - [u_{np(\gamma)}] \cdot \sigma_{xt}.$$

Здесь $[u_{np(\gamma)}]$ – табличное значение квантили нормированного нормального распределения, соответствующее заранее заданному предельно допустимому значению вероятности безотказной работы сопряжения $[P(t)] = \gamma$.

Средний ресурс (математическое ожидание ресурса) $T = \bar{t}$ определяется абсциссой точки пересечения графиков зависимостей: $\bar{x}_t = \bar{x}_0 + \bar{\gamma}_y \cdot t$ и $x_t = x_{np}$, см. **рис. 2, А**, или $\bar{x}_t = \bar{x}_0 - \bar{\gamma}_y \cdot t$ и $x_t = x_{np}$, см. **рис. 2, Б**.

Гарантированный ресурс $T = t_r$ определяется абсциссой точки пересечения графиков зависимостей:

$$x_{t\max} = x_{0\max} + \gamma_{y\max} \cdot t \text{ и } x_t = x_{np}, \text{ (см. рис. 2, А) или}$$

$$x_{t\min} = \bar{x}_t - \gamma_{y\max} \cdot t \text{ и } x_t = x_{np}, \text{ (см. рис. 2, Б).}$$

Область возможных значений предельного запаса n_{xt} надежности сопряжения, определяемая по первому (левому) уравнению (15), ограничена линиями графиков зависимостей $x_{t\max} = x_{0\max} + \gamma_{y\max} \cdot t$ и $x_t = x_{np}$, (см. **рис. 2, А**).

Область возможных значений предельного запаса n_{xt} надежности сопряжения, определяемая по второму (правому) уравнению (15), ограничена линиями графиков зависимостей $x_{t\min} = \bar{x}_t - \gamma_{y\max} \cdot t$ и $x_t = x_{np}$, (см. **рис. 2, Б**).

Таким образом, проведенный анализ базовых уравнений (1) – (15) общего методологического подхода к прогнозированию надежности «стационарных» трибосопряжений и их графическая интерпретация показывают, что еще на стадии проектирования возможно исследовать процесс формирования их износных отказов, проследить за изменением уровня показателей их безотказности и ресурсных характеристик в предполагаемых условиях эксплуатации для установления закона изнашивания.

Список литературы

1. Абрамов О. В., Розенбаум А. Н. Прогнозирование состояния технических систем. М.: Наука, 1990. 126 с.
2. Проников А. С. Параметрическая надежность машин. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 560 с.
3. Герцбах И. Б., Кордонский Л. Б. Модели отказов. М.: Сов. радио, 1966. 166 с.
4. Надежность и эффективность в технике: справочник: в 10 т. / ред. совет: В. С. Авдеевский (пред.) и др. М.: Машиностроение, 1987. Т. 1: Методология, организация, терминология. 218 с.
5. Прогнозирование надежности трибосопряжений на основе термодинамического анализа процесса трения / Анцупов А. В., Анцупов А. В (мл.), Слободянский М. Г. и др. // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. 2010. №3. С. 54–60.
6. Прогнозирование безотказности трибосопряжений по критерию износостойкости на стадии их проектирования / Анцупов А. В., Анцупов В. П., Анцупов А. В. и др. // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2010. №11. С. 38–45.
7. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М.: Издательский центр «Академия», 2003. 576 с.

Bibliography

1. Abramov O.V., Rosenbaum A.N. Predicting the state of technical systems in order. - M.: Nauka, 1990. - 126p.
2. Pronikov, A. S. Machine parametric safety. - M.: N. E. Bauman MGTU Publishers, 2002. - p. 560.
3. Gertsbakh I.B., Kordonskii L.B. Models failures. - Moscow: Soviet Radio, 1966.-166 p.
4. Reliability and efficiency in engineering. Directory. H17 in the 10t / Red. Tip: V.S. Avduevskii and others. - Moscow: Mashinostroenie, Vol.1: Methodology, The Organization, Terminology, 1987. - 218 p.
5. Antsupov A.V., Antsupov A.V. (Jr.), Slobodyanskii M.G. and others. Reliability prediction and other friction units based on the thermodynamic analysis of the process of friction // Bulletin of Magnitogorsk State Technical University. - 2010, № 3. P. 54-60.
6. Antsupov A.V., Antsupov V.P., Antsupov A.V. and others. Prediction reliability friction units by the criterion of wear on the stage of their projection-transformation // Friction and lubrication in machinery. - 2010, № 11. P. 38-45.
7. Wentzel E. S. Probability Theory. - Moscow: Publishing Center "Academy", 2003.-576 p.

УДК 621.979-82.001.8

Новиков В.И., Кадошников В.И., Куликова Е.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОЛОННЫХ КОВОЧНЫХ ПРЕССОВ

Свободная ковка является универсальным процессом ОМД, благодаря которому можно получать поковки разных габаритных размеров. Применениековки позволяет существенно снизить расход материала при дальнейшей механической обработке, исправить дефекты литой структуры. Изготовление детали, наиболее близкой по конфигурации к готовой продукции, позволяет значительно снизить трудозатраты. Для получения крупногабаритных деталей, а также для протяжки и рубки слитков на более мелкие заготовки применяются мощные ковочные прессы. Существует несколько основных типов исполнения ковочных прессов, различающихся расположением и типом привода, конструкцией станины, количеством рабочих цилиндров. В условиях машиностроительных и ремонтных предприятий наибольшее распространение получили ковочные прессы с верхним расположением привода, неподвижной станиной в четырехколонном исполнении.

В условиях ЗАО «Механоремонтный комплекс» ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» эксплуатируется ковочный пресс с четырехколонным исполнением станины производства фирмы «United» усилием 22,5 МН. Пресс предназначен для выполнения операций свободнойковки и штамповки в подкладных штампах. Расположение и конструкция базовых деталей прессы представлены на **рис. 1**. В верхней неподвижной поперечине (архитраве) 1 располагаются два рабочих 2, два возвратных цилиндра 3 и направляющий стакан хвостовика 4. Хвостовик 5, плунжеры рабочих 6 и штоки 7 возвратных цилиндров находятся в контакте с подвижной поперечиной 8, на которой крепится верхний боек (рабочий инструмент) 9. Нижний боек 10 располагается на нижней неподвижной поперечине (фундаментной плите) 11. В единую, замкнутую конструкцию поперечины соединены при помощи колонн 12 и гаек 13. На колоннах располагаются упоры 14. По колоннам осуществляется перемещение подвижной поперечины, которая контактирует с ними посредством направляющих втулок, запрессованных в отверстия приливов подвижной поперечины.

Данная конструкция имеет ряд преимуществ: высокая устойчивость, хорошая обзорность обрабатываемой заготовки, доступность к узлам и деталям прессы при проведении ремонтов и текущих осмотров. Но есть недостатки: так как данная конструкция имеет большое количество сопрягаемых деталей, работающих в экстремальных условиях, которые постепенно изнашиваются и пластически деформируются, то со временем жесткость прессы снижается и это, в свою очередь, негативно сказывается на его эксплуатации, точности и качестве получаемых поковок.

На сегодняшний день проведено множество исследований, посвященных ковочным прессам с ко-

лонным исполнением станины. Внедрение рекомендаций по результатам выполненных исследований позволило значительно снизить вероятность разрушения и износ деталей и узлов колонных прессов. В проведенных ранее исследованиях, как основной фактор, снижающий ресурс гидравлического прессы, рассматривался эксцентриситет силы его нагружения [1–5]. В работе [2] отмечается, что эксцентриситет силы незначительно влияет на поперечины прессы, а в значительно большей степени согласно работе [3] влияет на направляющие колонны. При эксцентриситете, равном 220 мм, на ковочном прессы усилием 60 МН конструкции УЗТМ наблюдается шестикратное увеличение изгибных напряжений и суммарного напряжения в 2 раза, по сравнению с центральным нагружением. В работе [3] также отмечено, что в зоне архитрава величина изгибающих напряжений в колоннах больше, чем в зоне фундаментной плиты, т.к. данные поперечины имеют разную жесткость. Для того чтобы показать всю актуальность рассматриваемой проблемы надежности колонных прессов и непосредственно наиболее нагруженной его части – колонн, приведем статистику по отказам колонн, изложенную в работе [1]. Приведенные сведения относятся к эксплуатации четырех прессов в период с 1953 по 1963 гг. (**табл. 1**) и нескольким прессам за период с 2000 по 2004 гг. (**табл. 2**). Также отмечено, что только по ПО «Уралмаш» и Коломенское СПО в период с 1970 по 1979 гг. для замены разрушенных было изготовлено 149 новых колонн общей массой 1100 т.

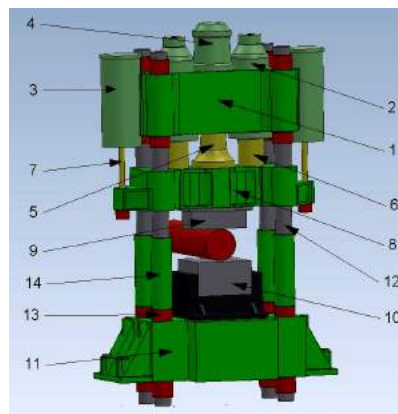


Рис. 1. Ковочный четырехколонный пресс усилием 22,5 МН

Следует отметить, что поломка колонны прессы приводит к необходимости полного демонтажа его конструкции, а на это, в свою очередь, требуются значительные финансовые и временные затраты. К тому же стоимость изготовления новой колонны высока и оно занимает много времени.

Таблица 1

Данные по разрушенным колоннам в период
с 1953 по 1963 гг.

Фирма-изготовитель	Сила пресса, МН	Число колонн	Диаметр колонны, мм	Кол-во поврежденных колонн
Вагнер, Германия	12	4	300	8 колонн (1953–61)
Гидравлик, Англия	30	4	498	2 колонны (1956–58)
УЗТМ, СССР	70	4	685	4 колонны (1955–59)
Места, США	100	4	760	4 колонны (1953–63)

Таблица 2

Данные по разрушенным колоннам в период
с 2000 по 2004 гг.

Фирма-изготовитель	Сила пресса, МН	Число колонн	Диаметр колонны, мм	Кол-во поврежденных колонн
Ижора	40	8	300	1
Zgoda	53	8	350	1
УЗТМ	70	4	630	4
УЗТМ	100	4	830	1
УЗТМ	100	4	830	1
Шлеман, Германия	100	4	800	1
КЗТС	200	12	600	3

О влиянии нагретой заготовки на детали, узлы и в целом конструкцию пресса частично упоминается в работе [6]. Отмечается зависимость влияния нагрева колонн от их конструкции. Так, полые колонны, как правило, изготавливаемые диаметром более 500 мм, более восприимчивы к теплу от нагретой заготовки. Неравномерный нагрев колонн по сечению и длине может привести к значительной неравномерности распределения напряжений. В работе также приводятся несколько наиболее распространенных способов по снижению воздействия лучистого тепла на колонны ковочного пресса. Как наиболее технологичный и экономичный отмечен способ использования цепных завес, подвешенных к подвижной поперечине для защиты колонн. Но данный способ защиты не гарантирует достаточно высокой защиты колонн от лучистого тепла и тем более от попадания окалины в зону скольжения подвижной поперечины по направляющим колоннам. В работе [7] проанализирован механизм влияния нагретой заготовки на рабочий инструмент ковочного пресса – бойки. Подробно рассмотрены причины снижения стойкости ковочных бойков и их температурный режим работы, а также рассмотрены возможности снижения влияния температуры нагретой заготовки на ковочные бойки. Недостатком работы является отсутствие анализа температурного влияния заготовки на базовые

детали ковочного пресса.

По результатам обзора проведенных ранее исследований, а также изучения условий работы ковочного пресса усилием 22,5 МН в условиях ЗАО «Механоремонтный комплекс», следует отметить, что на сохранение эксплуатационных характеристик гидравлического пресса в межремонтный период кроме эксцентриситета нагружения влияет и ряд других факторов: 1) градиент температур в конструкции пресса, вследствие обработки нагретой до ковочной температуры (700–1250°C) заготовки; 2) наличие окалины в рабочем пространстве пресса.

Окалина, образующаяся при обработке нагретой заготовки и попадающая в зону скольжения подвижной траверсы по направляющим колоннам, приводит к абразивному износу как направляющих втулок, так и колонн, также вследствие характера нагружения пресса со временем появляется неравномерный зазор в узле «колонна – направляющая втулка». Наблюдается уменьшение площади контакта втулки с колонной, что приводит к значительному снижению долговечности данного узла.

Градиент температур в конструкции пресса (рис. 2), вследствие обработки нагретой до ковочной температуры (700–1250°C) заготовки, имеет также ряд негативных последствий:

- перекося архитрава (в случае разной температуры колонн);
- раскрытие стыков в узле «колонна – гайка – поперечина»;
- износ направляющих деталей и уплотнений рабочих цилиндров;
- неравномерный износ направляющих втулок подвижной поперечины;
- возникновение дополнительных напряжений в колоннах, что повышает вероятность их разрушения;
- уменьшение жесткости конструкции и, следовательно, снижение точности процессаковки.

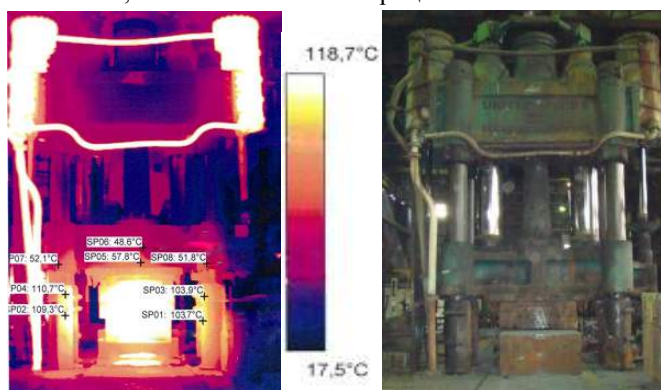


Рис. 2. Термограмма ковочного колонного пресса после биллетировки и протяжки 3-х слитков массой 4 т

В заключение отметим необходимость проведения исследований конструкции пресса с четырехколонным исполнением станины в лабораторных условиях, при помощи компьютерного моделирования и в условиях

цеха, где эксплуатируются подобные прессы. Целью исследований должно быть изучение нестационарного радиационно-конвективного теплообмена в системе «пресс-поковка», разработка способов снижения нагрева деталей и узлов ковочного пресса, изучение и модернизация его направляющей системы.

Список литературы

1. Сурков И.А. Исследование условий эксплуатации, определение причин разрушений и обеспечение безотказной работы колонн мощных гидравлических прессов: дис. ... канд. техн. наук. М., 2007. 121 с.
2. Коркин Н.П., Сурков И.А., Тимохин И.В. Влияние эксцентриситета силы нагружения гидравлического пресса на напряженное состояние подвижной поперечины // КШП. ОМД. 2008. № 4. С. 28–38.
3. Коркин Н.П., Сурков И.А., Тимохин И.В. Влияние эксцентриситета нагружения на напряженное состояние колонн мощного гидравлического пресса // КШП. ОМД. 2008. № 5. С. 40–43.
4. Койрес В.И. К расчету ковочных прессов в условиях эксцентрических нагружений // КШП. ОМД. 1984. № 6. С. 30–34.

5. Розанов Б.В. Гидравлические прессы. М.: Mashgiz, 1959. С. 24–29.
6. Мюллер Э. Гидравлические прессы. М.: Mashgiz, 1959.
7. Камнев П.В. Совершенствованиековки крупных поковок. Л.: Машиностроение, 1975. 343 с.

Bibliography

1. Surkov I.A. Study of operating conditions, determining the causes of destruction and ensuring uptime columns of high-powered hydraulic presses // Dis. for the degree of Cand. Science. Moscow, 2007. – 121 p.
 2. Corkin N.P., Surkov I.A., Timokhin I.V. Effect of eccentricity of loading force of hydraulic pressure on the stress state of the walking beam/ PFP. OMD. 2008 № 4. P. 28–38.
 3. Corkin N.P., Surkov I.A., Timokhin I.V. Effect of eccentricity of loading on the stress state of the columns of a high-powered hydraulic press / PFP. OMD. 2008 № 5. P. 40–43.
 4. Koyres V.I. Calculation of forging presses in eccentric loading. 1984. № 6. – P. 30–34.
 5. Rozanov B.V. Hydraulic Press. M.: Mashgiz, 1959. P. 24–29.
 6. Muller E. Hydraulic Press. M.: Mashgiz, 1959.
- Kamnev P.V. Improvement of forging large forgings, Leningrad Mechanical Engineering, 1975. – 343 p.

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ

УДК 52.45.15, 50.03.03

Рябчиков М.Ю., Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Полько П.Г., Логунова О.С., Рябчикова Е.С., Головкин Н.А.

НЕЧЕТКОЕ ЭКСТРЕМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РУДЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ*

При оптимизации управления процессом много-стадийного мокрого измельчения рудных материалов приоритетной целью (критерием) оптимизации является определение и поддержание максимальной производительности технологических агрегатов в условиях интенсивных технологических возмущений. Основным из возмущений является изменение твердости материала питания. Это приводит к практически неконтролируемому изменению текущей производительности агрегатов, работающих в замкнутом цикле, особенно при одновременном измельчении смеси руд различных месторождений.

В работе [1] изложены основные положения формирования управляющих воздействий при автоматической оптимизации управления технологическим процессом измельчения руды перед обогащением с использованием принципов нечеткого управления и экстремального управления. В данной работе основное внимание уделено объяснению принципа формирования управляющего воздействия при нечетком оптимальном управлении процессом.

Ранее отмечено, что в рассматриваемой системе автоматической оптимизации управления (САОУ) нечеткий регулятор формирует управляющий сигнал U в соответствии с принципом нечеткой логики [1]. Для этого введем нечеткие переменные:

X_1 = «Относительное приращение выходного сигнала»;

X_2 = «Относительное приращение выходного сигнала после прохождения фильтра»;

X_3 = «Приращение выходного сигнала»;

U = «Управляющий сигнал».

В области текущего нормированного сигнала X_1 введем два нечетких множества, определяющих значения лингвистических переменных X_1 соответствующими функциям принадлежности $[A_1^{X_1} = \text{«Большое»}; A_2^{X_1} = \text{«Нулевое»}]$. Аналогично определим функции принадлежности $\mu^{X_j}(X)$, где $j=1,2,3$ для значений лингвистических переменных X_2 и X_3 : $[A_1^{X_2} = \text{«Большое»}; A_2^{X_2} = \text{«Нулевое»}]$, $[A_1^{X_3} = \text{«Большое»}; A_2^{X_3} = \text{«Нулевое»}]$. Графически функции принадлежности нечетких множеств $\mu^{X_j}(X)$ и значения их параметров $A_1^{X_1}$, $A_2^{X_1}$, $A_1^{X_2}$, $A_2^{X_2}$, $A_1^{X_3}$, $A_2^{X_3}$ в зависимости от величины

входных нормированных параметров X_1 , X_2 и X_3 , определенные в виде функции Гаусса по выражениям [3, 4]:

$$\mu^{X_1}(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x \geq c; \\ e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}}, & \text{если } x < c; \end{cases}$$

$$\mu^{X_2}(x) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}}, \quad \forall x, \quad (1)$$

где c – положение центра функции принадлежности (обычно $c=0,5$); σ^2 – определяет ширину функции принадлежности ($\sigma=0,2$), представлены на рис. 1.

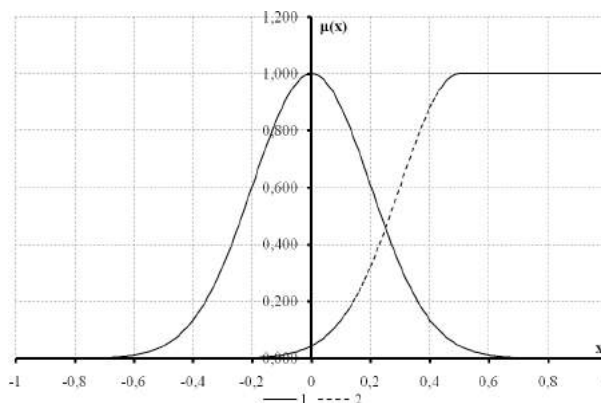


Рис. 1. Зависимости значений функций принадлежности $\mu^{X_j}(X)$ от величины входных параметров X_1 , X_2 и X_3 :

1 – $A_2^{X_1}$; 2 – $A_1^{X_1}$

В начале каждого цикла работы нечеткого регулятора вычисляются значения функций принадлежности $\mu^{X_j}(X)$ для каждого нечеткого множества соответствующих входных переменных. В качестве операций конъюнкции и импликации используются операции алгебраического произведения, а в качестве метода дефазификации – метод по среднему центру [2, 3].

Нечеткие множества значений выходной лингвистической переменной U определены функциями принадлежности $[B_1 = \text{«Большое»}; B_2 = \text{«Нулевое»}]$ и представлены в виде функций:

* Работа выполняется в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» 2009–2013 гг. по государственному контракту П2402 и 14.740.11.0498 от 01.10.2010.

$$\mu^U(x) = \delta(x-b) = \begin{cases} 1, & \text{если } x = b; \\ 0, & \text{если } x \neq b, \end{cases} \quad (2)$$

где значения параметра b для каждого значения выходной лингвистической переменной представлены в виде вектора $b=[1,0]^T$.

Для организации поискового режима и получения правил нечеткого управления используется основной эвристический принцип: «Если приращение оптимизируемого параметра положительное (т.е. направлено на достижение цели) и большое, то расчет управляющего воздействия необходимо производить при сохранении текущего направления без учета фильтра, а если приращение небольшое, то расчет управляющего воздействия следует вести с учетом фильтра, поскольку выходной параметр находится в окрестности экстремума, в противном случае необходимо корректировать расчет управляющего воздействия в противоположном направлении».

Функционирование программно реализованного нечеткого экстремального регулятора определяется следующей базой правил:

Каждое правило логически объясняет реальную

$$\begin{aligned} R_1: (X_1 = A_1^{x_1}) \cap (X_2 = A_1^{x_2}) \cap (X_3 = A_1^{x_3}) \rightarrow U = B_1; \\ R_2: (X_1 = A_1^{x_1}) \cap (X_2 = A_2^{x_2}) \cap (X_3 = A_1^{x_3}) \rightarrow U = B_1; \\ R_3: (X_1 = A_2^{x_1}) \cap (X_2 = A_2^{x_2}) \cap (X_3 = A_2^{x_3}) \rightarrow U = B_2; \\ R_4: (X_1 = A_2^{x_1}) \cap (X_2 = A_1^{x_2}) \cap (X_3 = A_2^{x_3}) \rightarrow U = B_1; \\ R_5: (X_1 = A_1^{x_1}) \cap (X_2 = A_1^{x_2}) \cap (X_3 = A_2^{x_3}) \rightarrow U = B_1; \\ R_6: (X_1 = A_2^{x_1}) \cap (X_2 = A_1^{x_2}) \cap (X_3 = A_1^{x_3}) \rightarrow U = B_2. \end{aligned} \quad (3)$$

производственную ситуацию и рекомендует соответствующее управляющее воздействие. Степень достоверности посылки каждого правила определяется в соответствии с выражением [3]:

$$\mu_i^p = \mu_j^{x_1} \cap \mu_k^{x_2} \cap \mu_l^{x_3}, \quad i = \overline{1,6}; \quad (4)$$

$j=1,2; k=1,2; l=1,2,3.$

Затем производится операция определения значений выходных нечетких множеств для каждого правила в соответствии с достоверностью посылки этого правила по выражению

$$\mu_i^R = \mu_i^p \cdot \mu_i^U, \quad i = \overline{1,6}. \quad (5)$$

В заключение осуществляется операция дефазификации с целью получения четкого значения выходной переменной U в соответствии с выражением

$$U = \frac{\sum_{i=1}^6 b_i \cdot \mu_i^R}{\sum_{i=1}^6 \mu_i^R}, \quad (6)$$

где b_i – центр функции принадлежности выходного нечеткого множества для i -го правила.

Пример расчета поискового процесса в шаговой рассматриваемой САОУ процессом измельчения рудных материалов при наличии случайных помех приведен ниже.

Для условий Сибайского филиала ОАО «Учалинский горно-обогатительный комбинат» линия регрессии для статической характеристики без учета дрейфа имеет вид:

$$Y = f(X_{\text{вх}}) = -0,001564 \cdot X_{\text{вх}}^3 + 0,272322 \cdot X_{\text{вх}}^2 - 14,604459 \cdot X_{\text{вх}} + 294,377061 \quad (7)$$

и значения исходных данных приведены в табл. 1.

Расчет переходного процесса произведен с учетом воздействия на выходной сигнал случайно помехи, распределенной по нормальному закону. Для моделирования этой помехи можно применить следующий алгоритм:

- 1) зарезервировать константу $C=2\pi$;
- 2) получить два случайных числа α_1 и α_2 из диапазона $(0; 1]$;
- 3) рассчитать величины $r = \sqrt{-2 \ln \alpha_1}$ и $\phi = C \cdot \alpha_2$;
- 4) рассчитать итоговую величину случайной помехи $\xi = r \cdot \cos \phi$.

График изменения случайной помехи представлен на рис. 2.

Таблица 1

Значения исходных данных для выполнения расчета

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Значение
Начальное значение входного параметра	$X_{\text{вх}}$	т/ч	52
Постоянная времени объекта	T_o	мин	6,1
Время запаздывания	τ_3	мин	2,0
Постоянная времени фильтра	$T_{\text{ф}}$	мин	5,0
Длительность цикла выдержки	t_b	мин	6,0
Нормирующий коэффициент	K_1	–	2,48
Нормирующий коэффициент	K_2	–	15,0
Нормирующий коэффициент	K_3	–	15,0
Нормирующий коэффициент	K_4	–	5,0
Минимальное значение перемещение ИМ	ΔX_{min}	т/ч	1,0
Параметр настройки интегратора для блока модуляции	$T_{\text{и}}$	мин	0,25
Параметр настройки для блока определения направления перемещения	ΔR	–	0,5
Уровень вносимой помехи	$\Delta \xi$	–	0,5
Рейтинг движения на увеличение	R^+	–	50
Рейтинг движения на уменьшение	R^-	–	48

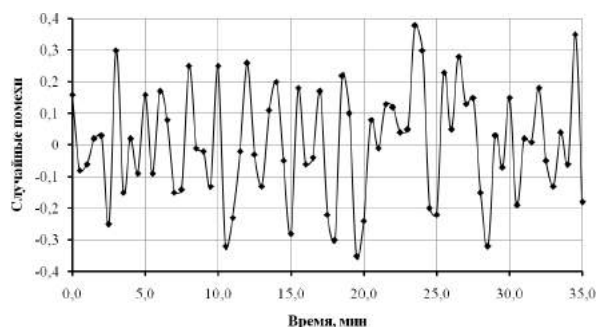


Рис. 2. График изменения случайной помехи

Для моделирования изменения выходной величины использовался метод Эйлера [4] при дискретности расчета $\Delta t=1$ мин для последовательного соединения звеньев. В начальный момент времени входная величина находилась на уровне $X_{вх}$. При этом $Y=51,393$. При уровне помех $\Delta \xi=0,5$ значение выходного сигнала с учетом влияния помех

$$Y' = Y + \Delta \xi \cdot \xi = 51,393 + 0,5 \cdot 0,164 = 51,475. \quad (8)$$

Таким же будет и первоначальное значение выходного сигнала, проходящего через фильтр, то есть $Y_{\phi}=51,475$. Допустим, что для движения к экстремуму необходимо принудительно увеличить входную величину на 5 единиц (в реальной ситуации величина задается по технологическим условиям, а направление первоначального изменения должно выбираться случайным образом), т. е. $\Delta X=5$ т/ч. После внесения этого возмущения необходимо подождать, пока выходная величина отреагирует на него. Период ожидания равен времени выдержки $t_{в}=6$ мин.

После окончания первого цикла выдержки получены следующие значения:

$$Y' = 53,7 + 0,5 \cdot (-0,251) = 53,575 \text{ т/ч}; Y_{\phi} = 52,313 \text{ т/ч};$$

$$X = 57 \text{ т/ч}; Y' = 53,775 - 51,475 = 2,1 \text{ т/ч}.$$

$$\frac{\Delta Y'}{\Delta X} = \frac{53,575 - 51,475}{57 - 52} = \frac{2,1}{5} = 0,42 \text{ и}$$

$$\frac{\Delta Y_{\phi}}{\Delta X} = \frac{53,313 - 51,475}{57 - 52} = \frac{0,838}{5} = 0,168.$$

Далее полученные величины $\Delta Y'$, $\frac{\Delta Y'}{\Delta X}$ и

$\frac{\Delta Y_{\phi}}{\Delta X}$ необходимо нормировать и взять по модулю:

$$\left| \frac{\Delta Y'}{\Delta X} \right| \cdot \frac{1}{K_1} = \frac{2,10}{2,48} = 0,847 = X_3;$$

$$\left| \frac{\Delta Y'}{\Delta X} \right| \cdot \frac{1}{K_2} = \frac{0,42}{15} = 0,028 = X_1;$$

$$\left| \frac{\Delta Y_{\phi}}{\Delta X} \right| \cdot \frac{1}{K_3} = \frac{0,168}{15} = 0,011 = X_2.$$

Для получения числового значения управляющего сигнала регулятора используем упрощенный алгоритм нечеткого вывода:

1) определить значение функции принадлежности каждого входного нормированного сигнала для значений $X_1=0,028$, $X_2=0,011$ и $X_3=0,847$, используя функции Гаусса (1):

$$A_1^{X_1} = \mu_1^{X_1}(X_1) = 0,062;$$

$$A_1^{X_2} = \mu_1^{X_2}(X_2) = 0,05;$$

$$A_1^{X_3} = \mu_1^{X_3}(X_3) = 1,00;$$

$$A_2^{X_1} = \mu_2^{X_1}(X_1) = 0,99;$$

$$A_2^{X_2} = \mu_2^{X_2}(X_2) = 0,998;$$

$$A_2^{X_3} = \mu_2^{X_3}(X_3) = 0,00;$$

2) найти уровни «отсечений» для предпосылок каждого из правил согласно (2):

$$\mu_1^p = A_1^{X_1} \cap A_1^{X_2} \cap A_1^{X_3} = 0,062 \cdot 0,05 \cdot 1 = 0,0031;$$

$$\mu_2^p = A_1^{X_1} \cap A_2^{X_2} \cap A_1^{X_3} = 0,062 \cdot 0,998 \cdot 1 = 0,062;$$

$$\mu_3^p = A_2^{X_1} \cap A_2^{X_2} \cap A_2^{X_3} = 0,99 \cdot 0,998 \cdot 0 = 0,00;$$

$$\mu_4^p = A_2^{X_1} \cap A_1^{X_2} \cap A_2^{X_3} = 0,99 \cdot 0,05 \cdot 0 = 0,00;$$

$$\mu_5^p = A_1^{X_1} \cap A_1^{X_2} \cap A_2^{X_3} = 0,062 \cdot 0,05 \cdot 0 = 0,00;$$

$$\mu_6^p = A_2^{X_1} \cap A_1^{X_2} \cap A_1^{X_3} = 0,99 \cdot 0,05 \cdot 1 = 0,05;$$

3) найти четкое значение выходной переменной (управляющего воздействия) по формуле (3):

$$U = \frac{0,0031 \cdot 1 + 0,062 \cdot 1 + 0 \cdot 0 + 0 \cdot 1 + 0 \cdot 1 + 0,05 \cdot 0}{0,0031 + 0,062 + 0 + 0 + 0 + 0,05} = \frac{0,0651}{0,1151} = 0,565;$$

4) нормировать значения с выхода нечеткого регулятора:

$$U_n = U \cdot K_4 = 0,565 \cdot 5 = 2,825\%;$$

5) вычислить рейтинги:

$$R^+ = 50 + 50 \cdot 0,011 = 50,55; R^- = 48 + 0,5 = 48,5;$$

6) проверить условие: если $R^+ > R^-$, то увеличить перемещение ИМ, т.е. $\sigma=+1$, в противном случае $\sigma=-1$;

7) рассчитать значение входного сигнала системы управления ИМ:

$$X_c(i) = X_c(i-1) + \sigma \cdot \Delta X_c = 57 + 1 \cdot 2,85 = 59,825 \text{ ед.};$$

8) после времени ожидания выполнить все шаги алгоритма, начиная с п. 1;

9) расчет останавливается, если число циклов будет $\geq n_{зад}$.

В производственных условиях при включении САОУ число циклов не ограничено и поисковый процесс идет непрерывно в реальном времени до выключения системы.

Результаты 10 итераций для рассматриваемого примера приведены в табл. 2.

Результаты 10 итераций расчета входного сигнала

Цикл	$X_{\text{вх}}$	Y'	Y_{ϕ}	$\Delta Y'$	$\frac{\Delta Y'}{\Delta X}$	$\frac{\Delta Y_{\phi}}{\Delta X}$	U_n	ΔX_c	σ	X_c
1	57,000	53,575	52,313	0,847	0,028	0,011	2,825	2,825	1	59,825
2	59,825	58,341	56,123	1,490	0,087	0,079	2,769	2,769	1	62,588
3	62,588	61,799	59,924	1,167	0,070	0,078	2,506	2,506	1	65,094
4	65,094	64,733	63,175	0,904	0,060	0,073	2,423	2,423	1	67,518
5	67,518	67,177	65,867	0,770	0,053	0,063	2,451	2,451	1	69,969
6	69,969	68,949	67,967	0,542	0,037	0,048	2,116	2,116	1	72,086
7	72,086	70,462	69,612	0,457	0,036	0,043	1,736	1,736	1	73,822
8	73,822	70,918	70,526	0,152	0,015	0,028	0,373	0,000	-1	73,822
9	73,822	70,938	70,871	0,160	0,027	0,072	0,581	0,000	1	73,822
10	73,822	71,056	71,027	0,208	0,034	0,082	0,703	0,000	1	73,822

В реальных условиях при изменении минералогического состава медно-цинковой руды величина $G_{\text{вых}}^{\text{max}}$ смещается (дрейфует) в общем случае непредсказуемым образом. Для проверки эффективности поискового режима работы САОУ процессом измельчения проведено математическое моделирование предлагаемого способа оптимизации управления. При моделировании управления одновременно проверено программное обеспечение и учтено изменение условий, способствующих как увеличению, так и уменьшению текущей производительности технологического агрегата под воздействием внешних условий измельчения медно-цинковой руды.

Траектории изменения во времени расхода питания $G_{\text{пит}}(\tau)$ и расхода выходного продукта $G_{\text{вых}}(\tau)$ при условии увеличения $G_{\text{вых}}^{\text{max}}$ от 70 до 90 т/ч и последующем снижении от 90 до 84 т/ч при функционировании программно реализованной САОУ процессом измельчения представлена на рис. 3, 4.

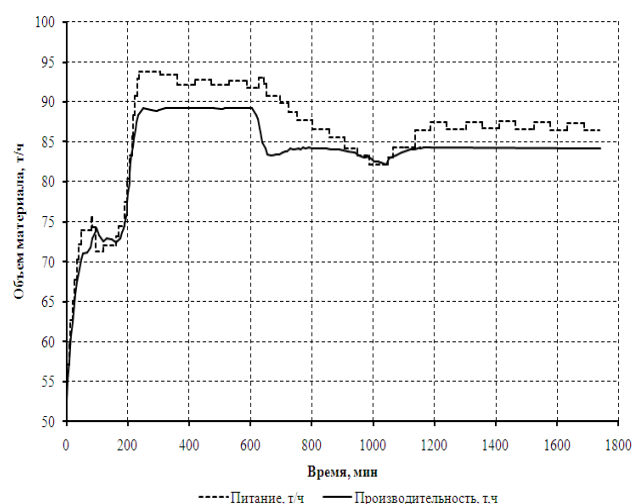


Рис. 3. Траектория изменения во времени $G_{\text{пит}}(\tau)$ и $G_{\text{вых}}(\tau)$ в процессе оптимизирующего режима работы САОУ процессом измельчения при изменении условий, приводящих к смещению статической характеристики процесса измельчения

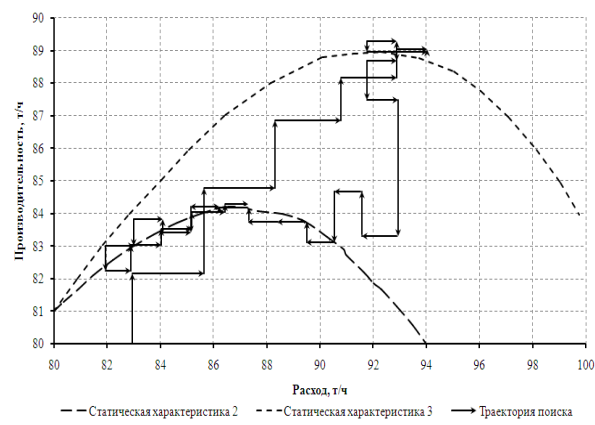
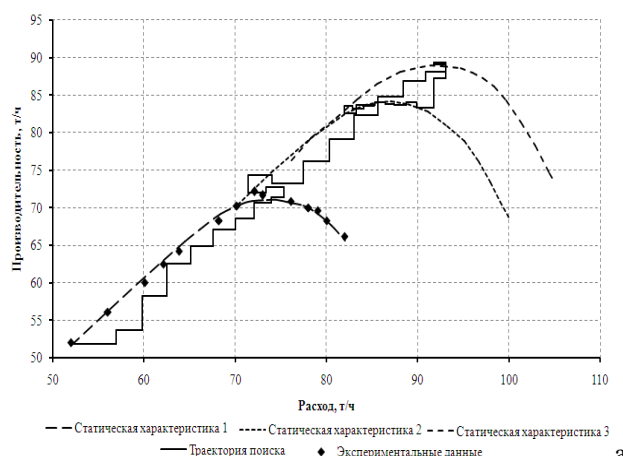


Рис. 4. Расчетные траектории положения статической характеристики $G_{\text{вых}}(\tau)=Y(G_{\text{пит}}(\tau))$ и траектории изменения $G_{\text{вых}}(G_{\text{пит}}(\tau))$ в процессе поискового режима: а – при смещении характеристики процесса измельчения при изменении $G_{\text{вых}}^{\text{max}}$ от 70 до 90 т/ч и от 90 до 84 т/ч; б – увеличенное изображение поискового режима работы СОАУ при снижении производительности $G_{\text{пит}}^{\text{max}}$ от 90 до 84 т/ч

Анализ полученных результатов позволяет сделать обоснованный вывод об эффективности работы предлагаемой шаговой САОУ процессом измельчения

рудных материалов. Использование сочетания принципов нечеткого управления и экстремального регулирования позволило синтезировать программно реализованную устойчивую помехозащищенную систему автоматической оптимизации управления технологическими процессами, способную обеспечивать достаточно высокое качество оптимизации управления процессом в условиях неопределенности и недостаточности информации об объекте управления.

Предлагаемая САОУ технологическим процессом может быть использована при оптимизации управления в любой отрасли промышленного производства. При использовании САОУ ожидается увеличение текущей производительности агрегатов на 1,5–2%, и при наличии современных технических средств не требуется дополнительных больших капитальных денежных затрат на внедрение, поскольку система рассчитана на программную реализацию.

Список литературы

1. Достижение максимальной производительности оптимизируемого процесса измельчения руды при использовании принципов нечеткого экстремального управления / М.Ю. Рябчиков [и др.] // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2011. № 2. С. 5–9.
2. Батыршин И.З. Основные операции нечеткой логики. Казань: Отечество, 2001. 102 с.
3. Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М.: Горячая линия – Телеком, 2004. 452 с.
4. Казакевич В.В., Родов А.Б. Системы автоматической оптимизации. М.: Энергия, 1977. 288 с.

Bibliography

1. Ryabchikov M.Y. Milling process maximal optimization system based on fuzzy logic. / M.Y. Ryabchikov [and others] // Vestnik MG TU, 2009 – №08 – p. 56-64.
2. Baturshin I.Z. Fuzzy logic base operations / I.Z. Baturshin – Kazan: Otechestvo, 2001 – 102 p.
3. Rutkovskaya D. Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems / D. Rutkovskaya, M. Pilinsky, L. Rutkovsky. – M.: Goryachaya linia – Telecom, 2004 – 452 p.
4. Kazakevich V.V. Automatic optimization system / V.V. Kazakevich, A.B. Rodov – M.: Energy, 1977 – 288 p.

УДК 669.16+658.011.56

Парсункин Б.Н., Сеничкин Б.К., Андреев С.М., Рябчиков М.Ю.

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДАЧЕЙ ПРИРОДНОГО ГАЗА И ТЕХНИЧЕСКОГО КИСЛОРОДА В ДУТЬЕ

Снижение удельного расхода дорогостоящего и дефицитного кокса и повышение производительности доменных печей являются наиболее приоритетными проблемами при управлении технологическим процессом доменной плавки.

В настоящее время основным видом альтернативной замены кокса, как источника тепловой энергии в доменном процессе, является природный газ, вдуваемый в доменную печь. Эффективность применения природного газа определяется величиной коэффициента замены кокса и приростом производительности печи.

Проведенные на доменных печах ММК исследования показали, что при всех равных условиях зависимости удельного количества кокса и производительности доменной печи от величины удельного количества природного газа имеют экстремальный вид. Положение экстремумов этих зависимостей определяется соотношением удельных количеств природного газа и технологического кислорода, используемого для обогащения дутья [1].

Экспериментальные зависимости часовой производительности доменной печи от величины отношения удельных количеств природного газа $V_{\text{пр}}$ и технологического кислорода $V_{\text{тк}}$ представлены на рис. 1 [1].

Анализ представленных на рис. 1 зависимостей показывает, что для обеспечения наибольшей производительности доменной печи при повышении удельного количества природного газа соотношение $V_{\text{пр}}/V_{\text{тк}}$ следует уменьшать. Рекомендованное рациональное значение соотношения $V_{\text{пр}}/V_{\text{тк}}$ в зависимости от ве-

личины удельного количества технологического кислорода представлено на рис. 2 [1].

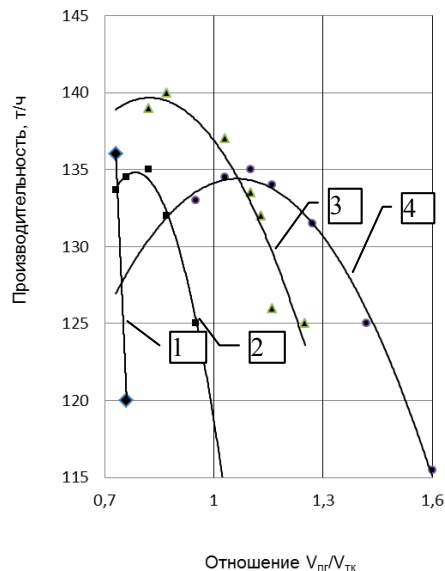


Рис. 1. Зависимость производительности доменной печи от соотношения удельных количеств природного газа $V_{\text{пр}}$ и технологического кислорода $V_{\text{тк}}$: 1 – 60–79; 2 – 80–99; 3 – 100–119; 4 – 120–140 м³/т чугу.

Учитывая результаты, представленные на рис. 1 и 2, можно сделать обоснованный вывод. Для каждой величины удельного количества технологическо-

го кислорода $V_{\text{тк}}$, используемого для обогащения дутья, существует такое оптимальное значение удельного количества природного газа $V_{\text{пг}}$, при котором производительность доменной печи достигает максимального значения при ожидаемом снижении удельного количества кокса. Наличие экстремального вида статистических характеристик, определяющих зависимость производительности доменной печи от величины соотношения $V_{\text{пг}}/V_{\text{тк}}$, является убедительным доказательством возможности и целесообразности использования для оптимизации управления подачей природного газа в доменную печь системы автоматической оптимизации управления (САОУ).

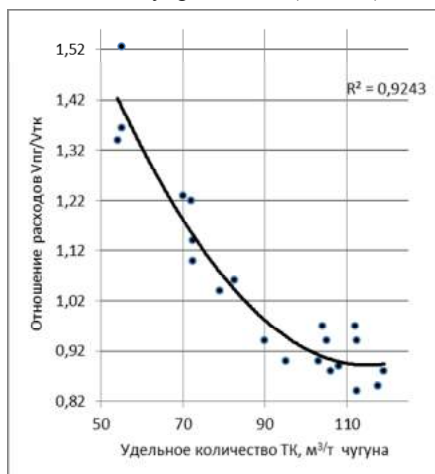


Рис. 2. Зависимость рационального соотношения $V_{\text{пг}}/V_{\text{тк}}$ от удельного количества технологического кислорода, используемого для обогащения дутья

Данная система способна в условиях неопределенности и недостаточности исходной информации определять и поддерживать максимально возможную текущую производительность доменной печи.

САОУ является простейшим интеллектуальным классом адаптивных самоприспосабливающихся автоматических систем управления, способных, благодаря поисковому принципу функционирования, обеспечивать эффективное достижение заданной цели оптимизации управления (в нашем случае достижения максимальной текущей производительности доменной печи).

Учитывая значительную инерционность процесса по каналу, «удельное количество природного газа - производительность доменной печи», когда постоянная времени процесса T_0 от 6 до 10 ч при времени запаздывания τ_3 от 1 до 3 ч [3], для оптимизации управления подачей природного газа при текущем значении $V_{\text{пг}}/V_{\text{тк}}$ необходимо использовать дискретный (шаговый) режим работы ШСАОУ при продолжительности одного шага управления $T_{\text{ш}} \geq (T_0 + \tau_3)$. Такой режим функционирования ШСАОУ хорошо согласуется с дискретным поступлением информации о текущей производительности доменной печи, формирующейся после очередного (дискретного во времени) выпуска чугуна.

В рассматриваемой ШСАОУ подачей природного газа в доменную печь управляющим параметром является «расход природного газа», а управляемым или

оптимизируемым параметром будет «часовая производительность доменной печи, т/ч» – независимым параметром следует считать «расход технологического кислорода, м³/ч».

Для определения влияния величины текущего расхода природного газа на производительность доменной печи при текущем расходе технологического кислорода необходимо от отношения $V_{\text{пг}}/V_{\text{тк}}$ перейти к контролируемой величине расхода природного газа $V_{\text{пг}}(\tau)$.

В соответствии с рис. 1, зная величину удельного количества технологического кислорода и производительность доменной печи, логично определить текущее значение расхода природного газа.

$$V_{\text{пг}}(\tau) = (V_{\text{пг}}/V_{\text{тк}})_{\tau} V_{\text{пг}}(\tau) P_{\tau}$$

где $V_{\text{пг}}(\tau)$ – расход природного газа м³/ч; P_{τ} – текущая производительность доменной печи.

Используя экспериментальные данные (см. рис. 1), можно определить статистическую зависимость производительности доменной печи от расхода природного газа для фиксированного удельного расхода технологического кислорода.

Зависимость производительности доменной печи от расхода природного газа при постоянном расходе технологического кислорода (линия 4 на рис. 1) представлена на рис. 3.

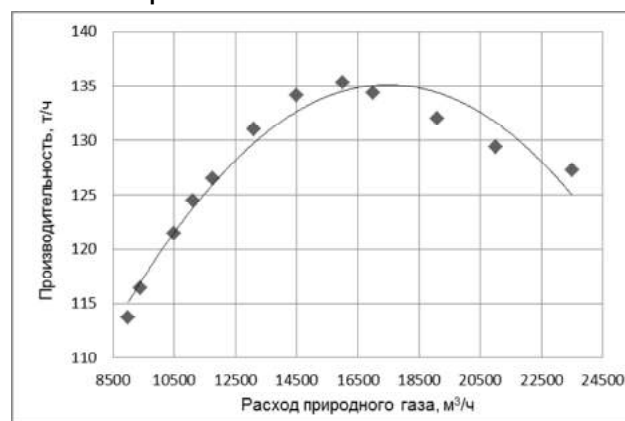


Рис. 3. Зависимость производительности печи от расхода природного газа при $V_{\text{тк}}=130 \text{ м}^3/\text{т}$

Учитывая значительную инерционность оптимизируемого процесса целесообразно при функционировании ШСАОУ расходом природного газа при определении максимальной производительности доменной печи использовать метод поиска по запоминанию экстремума приращений выходного параметра оптимизируемого процесса. Используемый метод позволяет значительно компенсировать негативное влияние инерционности и запаздывания на оперативность работы ШСАОУ [2].

Если для изменения управляющего параметра (расхода природного газа) используется исполнительный механизм постоянной скорости $K_{\text{им}} = \text{const}$, то изменение выходного оптимизируемого параметра с учетом инерционности определяется уравнением [2]

$$\Delta \dot{Z} = \left(\frac{\Delta Z}{\Delta X} \right) = \frac{1}{T_0 K_{\text{им}}} \left[f(x_{(\tau)}) - Z(x_{(\tau)}) \right],$$

где $\frac{\Delta Z}{\Delta X}$ – общее приращение оптимизируемого параметра при изменении управляющего воздействия на ΔX при ΔZ – приращение производительности печи, ΔZ – приращение расхода природного газа.

В соответствии с дискретным (шаговым) режимом работы ИМ это приращение включает, в общем случае, две составляющие:

$$\Delta Z_1 = \Delta Z_1^u + \Delta Z_1^p, \text{ при } \Delta \tau_{\text{и}} \ll \Delta \tau_{\text{п}}$$

где ΔZ_1^u – приращение выходного параметра за время изменения X (движения ИМ) в течение $\Delta \tau_{\text{и}}$ – времени управляющего импульса; ΔZ_1^p – приращение выходного параметра за время остановки ИМ на время паузы.

$$\Delta \tau_{\text{п}} \approx T_{\text{ш}} \geq (T_0 + \tau_3) = T_3 \leq T_{\text{ш}^*},$$

где $T_{\text{ш}}$ – продолжительность шага управления; T_0 – постоянная времени, характеризующая инерционность процесса; τ_3 – время запаздывания; T_3 – эквивалентная постоянная времени, принятая для удобства математического моделирования.

За время паузы $\Delta \tau_{\text{п}}$, когда исполнительный механизм неподвижен, оптимизируемый параметр во времени изменяется по экспоненте в соответствии с уравнением

$$\Delta Z_1^p = \left[f(x_1) - f(x_0) \cdot \left(1 - e^{-\frac{\pi}{T_3}} \right) \right] \text{ при}$$

$$\tau_{\text{и}} < \tau < \tau_{\text{и}} + \tau_{\text{п}}.$$

Следовательно, перед следующим шагом величина оптимизируемого параметра будет равна

$$Z_1(x) = Z_0 + \Delta Z_1.$$

Принцип пошагового режима работы ШСАОУ по запоминанию максимума приращений оптимизируемого параметра представлен на **рис. 4**.

В момент времени $\tau = 0$ оптимизируемый процесс находится в устойчивом состоянии. Это означает: $Z_{\tau=0} = Z_0 = Y_{\tau=0} = Y_0 = f(x_0)$. Затем ШСАОУ, в принципе случайно, изменяет величину управляемого параметра (делает шаг) на величину Δx в направлении увеличения значения x от x_0 до x_1 .

После остановки ИМ и изменении выходного параметра в момент движения ИМ на величину ΔZ^u выходная величина по экспоненте (во времени) увеличивается на величину ΔZ^u и через интервал времени цикла $T_{\text{ш}}$ (шага) становится равной Z_1 . Величина $T_{\text{ш}}$

$$T_{\text{ш}} \geq \Delta \tau_{\text{и}} + \Delta \delta_{\text{п}},$$

где $\Delta \tau_{\text{и}}$ – продолжительность управляющего импульса, когда $\Delta x = K_{\text{им}} \cdot \Delta \tau_{\text{и}}$; $\Delta \tau_{\text{п}}$ – продолжительность паузы.

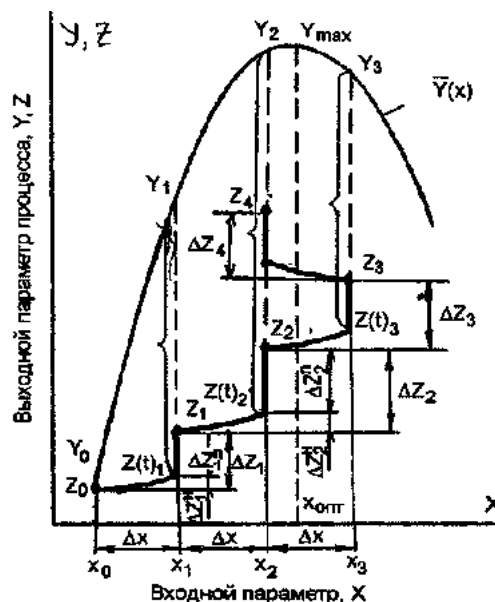


Рис. 4. Принцип поискового процесса в ШСЭР по запоминанию максимума приращений выходного параметра оптимизируемого процесса

Затем приращение $\Delta Z_1 = Z_1 - Z_0 > 0$ сравнивается с величиной $\Delta Z_0 = 0$, поскольку процесс находился в установившемся состоянии и переходный режим отсутствовал.

$$\Delta Z_1 \approx \frac{1}{T_3} [f(x_1) - Z_0] = \frac{1}{T_3} [Y_1 - Z_0] = \frac{1}{T_3} [Y_1 - Y_0].$$

Поскольку $\Delta Z_1 > \Delta Z_0$, то принятое направление изменения оптимизируемого параметра соответствует принятой цели управления, поэтому оно считается правильным и должно быть сохранено на последующий шаг. Это приращение запоминается в ШСАОУ как максимально достигнутое за прошедший шаг управления $\Delta Z_{(\tau-1)}^{\text{max}}$. ШСАОУ делает следующий шаг в направлении увеличения управляющего параметра (расхода природного газа):

$$x(\tau) = x_2 = x_0 + 2\Delta x = x_1 + \sigma_{(T)} k_{\text{ит}} \Delta \tau_{\text{и}}.$$

Здесь $\sigma_T \in (+1; -1)$ – знаковая функция, определяющая текущее направление управляющего воздействия.

В результате второго шага оптимизируемый параметр увеличивается на величину $\Delta Z_2 = \Delta Z_2^u + \Delta Z_2^p$ (см. **рис. 4**). Полученное значение приращения ΔZ_2 сравнивается с величиной $\Delta Z_{\tau-1}^{\text{max}}$ ($\tau - 1$).

Поскольку $\Delta Z_2 > \Delta Z_1 = \Delta Z_{\tau-1}^{\text{max}}$, то выбранное направление изменения $x(\tau)$ сохраняется и на последующий шаг изменения управляющего воздействия, а в качестве $\Delta Z_{\tau-1}^{\text{min}}$ запоминается ΔZ_2 .

При следующем шаге $x(\tau) = x_0 + 3\Delta x = x_2 + \sigma_{(T)} k_{\text{ит}} \Delta \tau_{\text{и}}$ значения $x_3 > x_{\text{опт}}$. Полученное

приращение $\Delta Z_3 < \Delta Z_2 = \Delta Z_{(\tau-1)}^{max}$, т.к. $[Y_3 - Z_{(x_3)}] < [Y_2 - Z_{(x_2)}]$.

Если величина разности ΔZ_3 и $\Delta Z_{(\tau-1)}^{max} = \Delta Z_2$ станет больше принятой зоны нечувствительности ШСАОУ, то в системе произойдёт реверс ИМ, т.к. направление движения управляющего воздействия изменится на противоположное.

При реверсе ИМ запомненное максимальное значение $\Delta Z_2 = \Delta Z_{(\tau-1)}^{max}$ сбрасывается и запоминается ΔZ_3 , как начальное при выбранном противоположном направлении (уменьшении) изменение управляющего параметра.

После реверса величина оптимизируемого параметра (производительность печи) от величины Z_3 достигнет за один шаг значения Z_4 . В ШСАОУ произойдёт сравнение двух приращений ΔZ_3 и ΔZ_4 . Если $\Delta Z_3 < \Delta Z_4$, то принятое направление изменения управляющего воздействия сохранится и на последующий шаг в выбранном направлении. Если $\Delta Z_4 < \Delta Z_3$ на величину большую, чем зона нечувствительности ΔZ_n ШСАОУ, то в ШСАОУ произойдёт реверс ИМ. Управляющий параметр (расход природного газа) снова начнёт увеличиваться, а в качестве $\Delta Z_{(\tau-1)}^{max}$ будет запомнено значение ΔZ_4 , как текущее значение на момент реверса. Это означает, что ШСАОУ вышла в окрестности экстремума и совершает поисковые движения в его окрестности.

Поскольку по мере достижения экстремума величины фиксируемых приращений будут уменьшаться в связи с уменьшением разности между $y = f(x_i)$ и

$Z(x_i)$, величина $\Delta Z \approx \frac{1}{T_0} [f(x_i) - Z(x_i)]$ будет пропорционально уменьшаться и в системе возникнет переходный режим.

Блок-схема рабочей программы для математического моделирования и реализации поискового режима ШСАОУ расходом природного газа с целью достижения максимальной производительности доменной печи представлена на рис. 5 [3].

Программа содержит два цикла. Первый отражает цикл периодов импульсного режима управления изменения выходного параметра (расхода природного газа) $\Delta \tau = \Delta \tau_n + \Delta \tau_{\pi}$. Второй цикл счёта времени $\tau = d\tau \cdot i$, где $d\tau$ – период дискретизации расчёта, i – число периодов расчёта, $i = \Delta \tau / d\tau$ в каждом цикле дискретного режима управления ИМ.

Импульсный режим управления расходом природного газа (входным управляющим параметром) реализуется в соответствии с условием:

если $\tau \in (0; \Delta \tau_n)$, то $x(\tau) = x_0 + \sigma(\tau)k_{\text{ит}}(\tau + \tau_0)$;
если $\tau \in (\Delta \tau_n; \Delta \tau)$, то $x(\tau) = x_0 + \sigma(\tau)k_{\text{ит}}\Delta \tau_n = \text{const}$,

где x_0 – начальное значение входного параметра в текущем цикле, равное конечному значению в предыдущем цикле; τ_0 – начальный момент времени последующего цикла (шага) управления, обычно равно 0.

Для приближённого решения дифференциальных уравнений в зависимости от изменения $x(\tau)$

$$T_{\partial k} \frac{dY_i}{d\tau} + Y_i(\tau) = f[x(\tau)] \text{ и } T_z \frac{dZ}{d\tau} + Z(\tau) = Y_i(\tau)$$

используется метод Эйлера для объекта управления второго порядка.

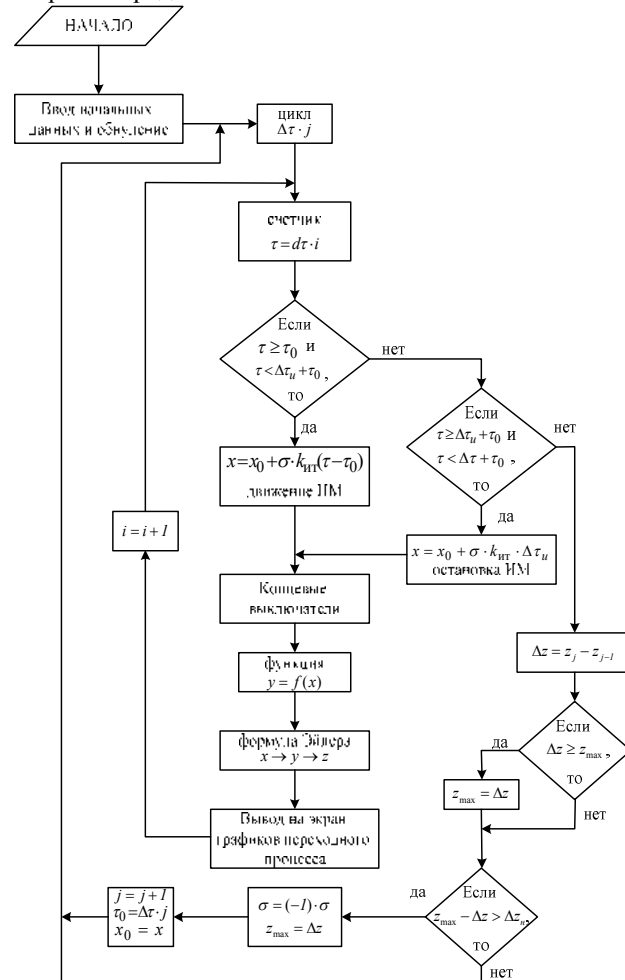


Рис. 5. Блок-схема программы расчета переходных процессов в ШСЭР по запоминанию максимума приращений выходного параметра оптимизируемого процесса увеличения производительности печи при управлении подачей природного газа

Использование ШСАОУ расходом природного газа с применением метода по запоминанию максимума приращений выходного параметра позволяет значительно повысить оперативность системы оптимизации управления за счёт практической полной компенсации негативного влияния инерционности и запаздывания на поисковый режим работы системы.

Следует добавить, что для функционирования рассматриваемой ШСАОУ в производственных условиях реальное положение и вид статистической характеристики оптимизируемого процесса не опреде-

лены и не известны. Уникальность и высокая интеллектуальность рассматриваемой ШСАОУ заключается в том, что для определения и поддержания максимальной текущей производительности доменной печи в системе используются только два информационных сигнала: «текущий расход природного газа» и «текущее значение производительности доменной печи».

Система оптимизации управления расходом природного газа рассчитана на программную реализацию при использовании современных микропроцессорных регулирующих контроллеров (МРК) и не требует дополнительных технических средств для реализации в производственных условиях.

Использование рассмотренной ШСАОУ позволит практически полностью исключить вмешательство технологического персонала в режимы управления расходом природного газа в печь и обеспечить максимально возможную производительность печи при текущих расходах технологического кислорода и природного газа.

Список литературы

1. Сеничкин Б.К., Бахчиев Н.Ф., Гостенин В.А. Энергетическая эффективность вдуваний в доменную печь природного и коксового газа // Проблемы развития металлургии Урала на рубеже XXI века: сб. науч. трудов. Магнитогорск. МГМА. 1996. Т. 2. 198 с.
2. Парсункин Б.Н., Бушманова М.В. Расчёты переходных процессов в системах экстремального регулирования с запоминанием экстремумов: учеб. пособие. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И.Носова, 2001. 164 с.
3. Применение математических методов и ЭВМ для анализа и управления доменным процессом. Товаровский Н.Г., Райх Е.Н., Шкодин К.К., Улахович В.А. М.: Металлургия, 1978. 264 с.

Bibliography

1. Senichkin B.K., Bakhcheev N.F., Gostenin V.A. Power efficiency of natural and coking gas inflation in a blast furnace // Problems of development of Ural Mountains metallurgy on the boundary of the XXI century: T.2 the Collection of proceedings. Magnitogorsk. MGMA. 1996. – 198 pp.
 2. Parsunkin B. N., Bushmanova M.V. Transients design in systems of extreme regulation with storing of extrema: the Manual. – Magnitogorsk. MGTU of G.I.Nosov. 2001. – 164 pp.
- Application of mathematical methods and the computer for the analysis and management of blast-furnace operation. Tovarovsky N.G., Raykh E.N., Shkodin K.K., Ulakhovich V.A. Metallurgy, 1978. – 264 pp.

УДК 669.187.2.036.046.001.57

Агапитов Е.Б., Болкунова В.А., Шутов К.В.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ВОДООХЛАЖДАЕМОЙ ДОМЕННОЙ ФУРМЫ ПРИ НАЛИПАНИИ РАСПЛАВА ШЛАКА НА ЕЕ ПОВЕРХНОСТЬ

Стойкость применяемых воздушных фурм определяет технологический уровень доменного производства. Проблемы повышения стойкости фурм, анализ условий эксплуатации и причин выхода из строя являются одним из актуальных вопросов производства, так как до 38% простоев доменных печей приходится на замену фурм. Срок их службы составляет для различных заводов от нескольких часов до 250–260 суток. Качественно изготовленные и правильно эксплуатируемые фурмы при стабильной технологии доменной плавки имеют стойкость более года. Разработано множество технических решений для повышения стойкости воздушных фурм, методов контроля их текущего состояния и возрастной динамики выхода фурм из строя. Тем не менее, для многих предприятий, в том числе для ОАО «ММК», эта проблема остается актуальной.

При классификации характера разрушения фурм принято рассматривать три основные группы повреждений: трещины, износ и прогар.

Основными причинами прогара фурм является контакт их поверхности с жидким чугуном или шлаком (рис. 1). На долю прогаров приходится до 75% случаев выхода фурм из строя при среднестатистической величине 58–63%. При этом случаи прогара носка снизу составляют около 70%, верха носка 23–25%, прогары носка сбоку, сопла или обечайки – 5–7%. Эффективным способом борьбы с прогарами считается утолщение носка.

Так как существующие решения по снижению прогаров не являются вполне очевидными, была предпринята попытка проанализировать тепловое

состояние фурмы при контакте с расплавом шлака с помощью численного моделирования.



Рис. 1. Характер прогара воздушной фурмы

Механизм термического повреждения фурмы можно предоставить следующим образом: при попадании на поверхность перегретого расплава и прилипании его к поверхности фурмы увеличивается плотность теплового потока (и соответственно температура стенки фурмы) выше некоторой критической величины. Начинается процесс парообразования, что временно улучшает охлаждение фурмы за счет затрат тепла на испарение воды. Считается, что в этот период коэффициент теплоотдачи может достигать 30–46 кВт/м²К вместо обычных 0,8–1,5 кВт/м²К. Дальнейшая стабилизация паровой прослойки обуславливает рост температуры стенки фурмы вплоть до ее термического разрушения. Упомянутая выше критическая плотность теплового потока зависит от формы, размеров и состояния поверхности охлаждаемой полости, давления, скорости охлаждающей среды.

Численное моделирование теплового состояния фурмы проводили с помощью пакета прикладных программ Flow Vision. Исследование было разделено на несколько этапов. Вначале была рассчитана гидродинамика потока охлаждающей воды в полости фурмы. Построенная в Solid Works геометрия фурмы была импортирована во Flow Vision. В препроцессоре была выбрана модель «Несжимаемая жидкость», для которой рассчитывались поля скоростей. По производственным данным скорость воды на входе в корпус фурмы была принята 10 м/с, заданы граничные условия «Стенка» и «Свободный выход». Построенная расчетная сетка имела следующее число разбиений: вдоль оси x-50, оси y-40, оси z-35. Поле распределения скоростей движения воды в одном из сечений представлено на **рис. 2**.

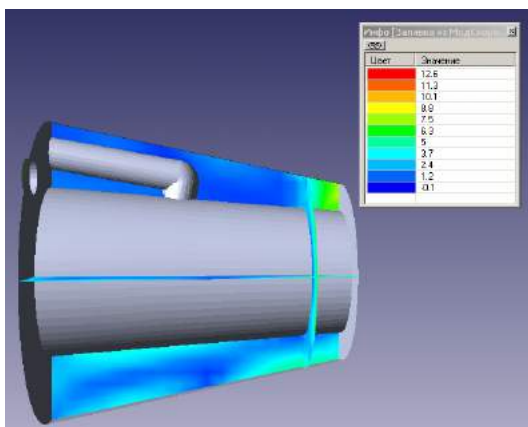


Рис. 2. Поле скоростей движения охлаждающей воды в фурме

Из полученных результатов видно, что существуют зоны, где скорость воды практически равна 0 и в них не происходит должного охлаждения, следовательно, повышается вероятность появления прогара. Таким образом, одним из решений может быть увеличение скорости воды для интенсификации теплообмена.

Вероятно, механизм прогара при налипании шлака и постепенно возрастающей тепловой нагрузке следующий: происходит выщербливание меди в зоне контакта с мелкими каплями жидкого чугуна и шлака, при этом образуется настывль, которая со временем расплавляется и способствует растворению слоя оксидов меди жидким шлаком. Прожог происходит за счет постепенного уменьшения толщины медной стенки при росте тепловой нагрузки. С помощью Flow Vision была смоделирована нестационарная задача охлаждения капли жидкого шлака, налипшей на стену фурмы. В Solid Works была построена геометрия стенки фурмы и упрощенная геометрия капли шлака. Для стенки медной фурмы и застывшей капли шлака

выбрана модель «Твердый материал», рассчитывались уравнения энергии. На основе оценочных предварительных расчетов, задавалась начальная температура на внешней поверхности фурмы 70°С (до налипания шлака), на внутренней – со стороны воды 56°С.

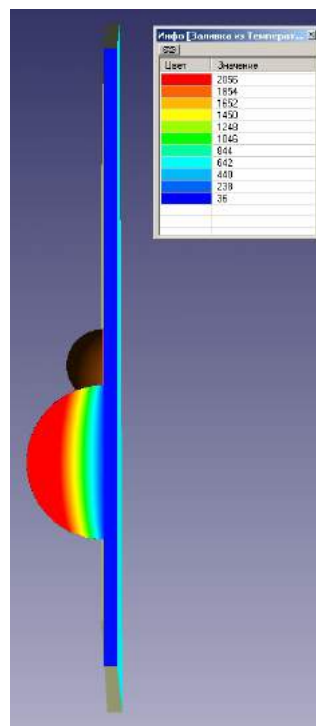


Рис. 3. Установившееся тепловое поле капли шлака на стенке фурмы

На основании анализа литературных источников тепловой поток на границе раздела шлак – поверхность фурмы был принят 320000 Вт/м². Далее была произведена связка под областей через граничные условия и выполнен расчет. В результате были получены температурные поля по сечению капли шлака в процессе её остывания на стенке фурмы (рис.3). При этом в начальный период налипание капли шлака не оказывает влияния на характер охлаждения всей фурмы.

Однако в дальнейшем, когда на границе образуется шлако – металлический сплав, локальные теплопроводные свойства стенки резко ухудшаются, что и может провоцировать прогар.

Одним из очевидных результатов проведенной работы является обнаружение застойных гидродинамических зон в полости охлаждения фурмы, что требует применения конструктивных решений по интенсификации теплообмена.

ЭНЕРГЕТИКА МЕТАЛЛУРГИИ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

УДК 669.1.013.5

Никифоров Г.В., Журавлев Ю.П., Девятков Д.Х.

РАЗВИТИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БАЗЫ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ОАО «ММК»*

История Магнитогорского металлургического комбината и города Магнитогорска независимо от политических настроений является предметом гордости и неразрывно связана с новейшей историей страны, которая в последнее время зачастую незаслуженно забывается. Магнитогорский металлургический комбинат, строительство которого началось в 1929 году, называют детищем первых пятилеток, флагманом социалистической индустрии, символом трудового героизма и самоотверженности жителей нашей страны.

Известно, что за годы гражданской войны развитие черной металлургии страны было отброшено на десятилетия назад. Некоторые экономисты утверждали, что потребуется не менее 20–25 лет для достижения металлургией уровня 1913 года. Однако уже к концу 1928 года черная металлургия страны в основном была восстановлена, и народное хозяйство получило 3,3 млн т чугуна, 4,3 млн т стали и 3,4 млн т проката. В это время возникла смелая до дерзости идея создания Урало-Кузбасса – второй угольно-металлургической базы страны. Рудные запасы горы Магнитной были определены в 500 млн т, что и предопределило географическое расположение нового металлургического гиганта.

17 января 1929 года на заседании Совнаркома СССР принято решение об утверждении строительства Магнитогорского завода производительностью 655 тыс. т чугуна в год, а уже 16 февраля 1930 г. ЦК ВКП(б) устанавливает мощность завода в 2,5 млн т с последующим увеличением ее до 4 млн т в год. В постановлении ЦК ВКП(б) «О работе Уралмета» от 15 мая 1930 года указывалось, что индустриализация страны не может в дальнейшем опираться только на южную угольно-металлургическую базу. Жизненно необходимым условием быстрой индустриализации страны является создание на востоке второго основного угольно-металлургического центра путем использования богатейших угольных и рудных месторождений Урала и Сибири.

О темпах сооружения Магнитки красноречивее всего говорят такие данные: 1 июля 1930 года заложен фундамент первой домны, а спустя 19 месяцев, 1 февраля 1932 года, пошел первый чугун. За полтора года были построены и пущены в эксплуатацию рудник, плотина, первый блок центральной электростанции,

коксовая батарея и ряд других производственных объектов, без чего нельзя было производить чугун.

С этого времени Магнитогорский гигант стал вносить весомый вклад в экономику страны. Уже к концу февраля 1932 года металл Магнитки стали получать все заводы крупных промышленных центров, в том числе Москвы, Ленинграда, Харькова и других городов.

Один за другим вступали в строй новые объекты. В июне 1933 года заработала третья домна, а 8 июля была получена первая сталь. В конце июля начал действовать первый магнитогорский блюминг. В октябре и ноябре того же года начали плавить сталь мартеновские печи № 3 и 4. 3-го декабря в технологической линии блюминга заработал заготовочный стан 630, а 30-го декабря была задута четвертая домна – последняя печь первой очереди комбината.

Параллельно с развитием строительства и основного производства шло развитие энергетической базы комбината. Первую временную электростанцию мощностью 4750 кВт строители начали монтировать 5 сентября 1929 года. Начальником временной электростанции №1 был назначен бывший матрос А. Макарычев. Основным агрегатом станции был двигатель типа «ВОЛЬФ». Станция начала выдавать ток 12 марта 1930 года и была самой мощной дизельной станцией в Союзе. В июле того же года начались работы по строительству Центральной электростанции, которая до настоящего времени является основным производителем электрической энергии комбината.

Как писал в американском еженедельнике «Каррент Хистрис» инженер Майлс Шировер, проработавший на Магнитострое около полутора лет: «История не знала еще случая, чтобы целая нация строила с таким энтузиазмом металлургический завод. В сущности, Магнитогорск создан советской молодежью: 60 процентов рабочих этого строительства моложе 24 лет...».

Магнитогорский металлургический комбинат внес неоценимый вклад в укрепление обороноспособности страны. В предвоенные годы комбинат работал наиболее производительнее. Так, в 1940 году было добыто более 5,5 млн т железной руды, около 2-х млн т кокса, выплавлено 1,7 млн т чугуна, почти столько же тонн стали, произведено 1,2 млн т проката. Выпуск валовой продукции составил 314 млн руб. Прибыль достигла почти 100 млн руб.

К 1941 году комбинат превратился в одно из крупнейших металлургических предприятий не только

* При подготовке статьи использованы материалы, опубликованные в [1-4].

страны, но и Европы. За годы войны на металлургическом комбинате были построены и введены в строй две агломерационные ленты, четыре коксовые батареи, две доменные и пять мартеновских печей, броневой стан «4500», среднелистовой стан «2350», фасонно-вальце-сплавильный цех, группа снарядных цехов.

Общеизвестно, что в годы войны каждый второй танк, каждый третий снаряд были изготовлены из магнитогорской стали. Всю войну Магнитка давала стране каждую четвертую тонну металла. Известный американский публицист А. Вернер писал: «Весь мир является свидетелем драматической борьбы магнитогорского металла с металлом всей Европы, мобилизованным Гитлером; Магнитогорск в этой войне победил».

Переход предприятий Магнитогорска на выпуск мирной продукции был совершен без снижения уровня производства. В первые послевоенные годы Магнитка являлась одной из основных баз поставки металла и других видов продукции для восстановления разрушенных городов, сел и промышленных предприятий. Помогая восстановлению и развитию народного хозяйства страны, Магнитка и сама росла бурными темпами. Так, в период с 1971 по 1975 годы производительность труда увеличилась на 28,6%, выплавка чугуна возросла на 1,4 млн т, стали – на 2,9 млн т, производство проката – более чем на 2 млн т. Весь прирост производства продукции получен за счет повышения производительности труда, реконструкции и модернизации существующего оборудования при небольших капитальных вложениях.

Чтобы лучше осмыслить эти цифры, удобно воспользоваться следующим сравнением. В 1940 году общее производство стали на комбинате равнялось 1,6 млн т. В указанные пять лет лишь прирост составил почти вдвое больше. Таким образом, за одно пятилетие комбинат прибавил себе мощность целого предприятия, или иначе говоря, «сэкономил» стране крупный металлургический завод.

В 1979 году и в начале 80-х годов была достигнута наивысшая производительность труда доменщиков, сталеваров и прокатчиков ММК, она была в три раза выше, чем в среднем по отрасли, а себестоимость продукции – самая низкая в стране. Продукция комбината поступала более чем на семь тысяч предприятий и строек страны, направлялась почти в пятьдесят стран мира. В 1989 г. производство стали достигло рекордного уровня 16 млн т в год.

В 1992 году Магнитогорский металлургический комбинат был преобразован в акционерное общество открытого типа. Становление рыночных отношений проходило в сложнейших условиях, характеризовавшихся резкими и многократными колебаниями внутренних и экспортных цен, валютного курса, почти трехкратным сокращением, а по существу обвалом в начале 90-х годов внутрисоюзного потребления металлопродукции, развалом годами сложившихся внутрисоюзных кооперационных связей. Практически постоянно изменялись валютное, таможенное и налоговое законодательство, отмечался хронический недостаток оборотных средств, возводились различные искусственные преграды на внешнем рынке, на которые многим предприятиям, в том числе ОАО «ММК», пришлось переориентироваться в кратчайшие сроки.

Размеры инвестиций в промышленность России, в том числе в черную металлургию, сократились за годы реформ по сравнению с 1991–1992 гг. в 2,5 раза. Коэффициент обновления основных фондов уменьшился по промышленности в целом с 7% в конце 80-х годов до 1,5–1,6%, а по черной металлургии – до 0,8–0,9%. В результате износ основных фондов вырос по промышленности с 46,4% в 1990 году до 49,9% в 2001 году, а в черной металлургии – до 53,6%. В 1991 году износ основных фондов флагмана черной металлургии составил 89%.

В условиях переходного периода акционерные общества оказались без средств на инновационно-инвестиционное развитие. Но вопреки общей тенденции ОАО «ММК» не только смог найти средства на инновационное развитие, но и доказало, что именно оно является одним из главных стратегических факторов экономического подъема предприятия и экономики в целом.

В использовании инвестиций ОАО «ММК» активно работает с отечественными машиностроительными заводами, но принципиально новые технологии – в основном это касается прокатного производства – ММК приобретает за рубежом, поскольку в России таковых пока просто нет. Если отечественные машиностроители смогли бы предложить альтернативу, комбинат, конечно же, предпочел бы сотрудничество с ними. Ведь развитие внутреннего рынка выгодно всем его участникам.

Оценивая минувшие годы, с 2006 по 2010, мы видим, что прошедшая пятилетка была одной из самых непростых для Магнитогорского металлургического комбината. Анализ работы ОАО «ММК» до 2008 г. показывает его динамичное развитие. Был реализован ряд энергоэффективных проектов:

- строительство новых генерирующих мощностей на использовании энергии вторичного пара паросилового цеха (ПСЦ);
- внедрение технологии риформинга природного газа для получения водорода вместо электролиза воды в листопрокатном цехе № 5 (ЛПЦ-5);
- строительство новых нагревательных печей (4-я печь ЛПЦ-10, печи сортовых станов, обеспечивающие снижение удельного расхода топлива);
- внедрение устройств частотного регулирования электроприводов;
- оптимизация трубопроводных систем распределения энергоносителей по территории комбината;
- более полное использование вторичных газов (доменного и коксового);
- рациональное распределение загрузки однородных цехов и агрегатов;
- строительство и ввод в эксплуатацию принципиально новых технологических агрегатов (дуговые сталеплавильные печи) и др.

Изменение структуры сталеплавильного производства с пуском дуговых сталеплавильных печей в 2006 г. привело к заметному изменению структуры внешнего энергобаланса предприятия: начали снижаться доли коксующихся углей и природного газа и увеличиваться доля электроэнергии. Результатом нарастания выплавки электростали, реализации энергоэффективных проектов явилось уменьшение энер-

гоёмкости продукции комбината с 6,52 до 5,63 Гкал/т, что позволило приблизиться по этому показателю к мировым лидерам в чёрной металлургии.

Экономический спад привел к появлению проблем в экономике, одной из которых стала нестабильность спроса в металлопотребляющих отраслях. Последствия неблагоприятных факторов ощутила на себе и энергосистема ОАО «ММК». Энергоёмкость продукции комбината возросла (кривая динамики изменения удельного энергопотребления представлена на рис. 1). Причиной уменьшения удельного энергопотребления явилось изменение объёмов и структуры производства продукции. Конечно, пришлось пересмотреть, отложить намеченную на 2008-2009 годы реализацию некоторых инвестиционных проектов.

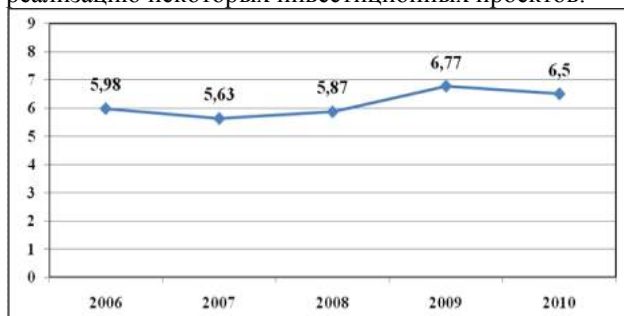


Рис. 1. Удельное энергопотребление в ОАО «ММК», Гкал/т стали

Несмотря на трудности последних лет, ММК остаётся лидером чёрной металлургии России в области инвестиций в реконструкцию и модернизацию производства. За последнее годы на комбинате обновлены практически все переделы, построены новые высокопроизводительные агрегаты. В рамках реализации крупных технологических проектов выполнены работы энергетического профиля:

- введены в строй агрегат непрерывного горячего цинкования АНГЦ №2 (2008 г.), агрегат полимерных покрытий АПП №2 (2009 г.), что потребовало строительства водогрейной котельной №3 ПСЦ в составе двух водогрейных котлов по 19 МВт;

- стан «5000» (2009 г.), в составе оборудования которого: водогрейная котельная № 6 на базе трех котлов тепловой мощностью по 36 МВт, ПС №16 110/10 кВ с установленной мощностью трансформаторов 200 МВА (2×100 МВА), высокопроизводительный оборотный комплекс водоснабжения с объемом подачи воды 25530 м³/ч и минимальным воздействием на окружающую среду;

- комплекс внепечной обработки и МНЛЗ №6 кислородно-конвертерного цеха (ККЦ, 2010 г.), в структуре комплекса паровая котельная на базе двух паровых котлов производительностью 20 т пара каждый и двухтрансформаторная подстанция № 29 (мощностью 2×80 МВА);

- кислородный цех УГЭ: на кислородной станции № 4 возведен новый кислородный блок № 4.

В прошлом году комбинат вышел на докризисный уровень реализации продукции – около 10 млн т стали. Стратегия комбината остаётся прежней – она направлена на увеличение объёмов и модернизацию производства.

Ежегодный рост тарифов на электроэнергию, поступающую от региональной энергосистемы, в последние годы вынуждают комбинат развивать и постоянно совершенствовать собственную энергетическую базу. К этому подталкивают более чем двукратное превышение тарифов на покупную электроэнергию по отношению к себестоимости электроэнергии, производимой на предприятии, необходимость (по экологическим причинам) утилизировать вторичные газы. В 2010 году потребляемая мощность всеми подразделениями ОАО «ММК» составила 793,2 МВт. На ее покрытие выработано собственными станциями ОАО «ММК» 594,4 МВт, закуп электроэнергии из внешней системы составил 198,8 МВт. Таким образом, доля собственной электроэнергии в общем балансе составила 75%, при этом ее себестоимость в 2,1 раза ниже стоимости покупной электроэнергии. Динамика выработки и потребления электроэнергии ОАО «ММК» в 2006–2010 гг. показывает снижение самообеспеченности электроэнергией с 88,7 до 75% по сравнению с 2005 годом в связи с нарастанием выплавки электростали (рис. 2).

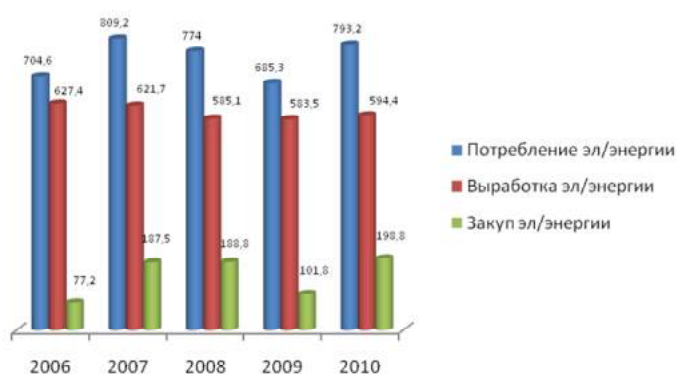


Рис. 2. Динамика выработки и потребления электроэнергии ОАО «ММК» в 2006-2010 гг.

За 2010 год структурные подразделения УГЭ обеспечили стабильную работу энергооборудования комбината, для энергоснабжения в полном объеме потребителей выработано:

- тепла – 8 510 тыс. Гкал (в т.ч. промплощадка – 1135 тыс. Гкал, город – 2136 тыс. Гкал, пар промышленный 5 239 тыс. Гкал);
- дутья – более 23,0 млрд м³ (23 133 409,0 тыс. м³),
- кислорода – более 2,0 млрд м³ (2 115 422,8 тыс. м³),
- воздуха – более 2,0 млрд м³ (2 178 671,5 тыс. м³);
- аргона – 8241,4 тыс. м³.

Модернизация, проводимая на комбинате, определяет неуклонный и в последнее время особенно интенсивный рост потребляемой электрической мощности. Для реализации важнейших перспективных задач Управлением главного энергетика разрабатываются «Программа приоритетных проектов по выработке электроэнергии и снижению затрат на покупку энергоресурсов в ОАО «ММК»; «Программа повышения энергетической эффективности производства ОАО «ММК»» и др.

В настоящее время реализуется крупнейший инвестиционный проект – создание современного комплекса холодной прокатки: стана 2000 в ЛПЦ-11. Продолжается реконструкция стана 2500 горячей прокатки в ЛПЦ-4, заключен контракт на поставку нового кислородного блока №5 для кислородной станции №5 и др. Для реализации этих проектов специалистами УГЭ проработана возможность технического перевооружения центральной электростанции (ЦЭС), с целью обеспечения стана 2000 холодной прокатки электроэнергией, теплом и технологическим паром. Планируется строительство: парового котла производительностью 260 т/ч пара, турбогенератора электрической мощностью 50 МВт, ввод в работу ПС №23 110/10 кВ с установленной мощностью трансформаторов 200 МВА (2×100 МВА).

В рамках реализации программы «Повышение энергоэффективности ОАО «ММК»» предполагается реализация проектов: «Установка паровой турбины в производственный отбор существующего турбогенератора №4 ТЭЦ», что позволит дополнительно вырабатывать 4 МВт электроэнергии без увеличения расхода топлива; «Горно-обогащительное производство. Строительство современной газотурбинной установки», что обеспечит потребителей энергоносителями (электроэнергией на 24 МВт, теплом на 48 Гкал/ч).

Модернизируя и наращивая производство, ОАО «ММК» продолжает заниматься вопросами экологии. Прошедший год не стал исключением. В списке наиболее значимых природоохранных мероприятий, реализованных на предприятии, – строительство системы оборотного водоснабжения, блока очистных сооружений, газоочистки за машинами газовой резки, системы аспирации комплекса внепечной обработки стали новой машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ-6).

По мнению энергетиков ОАО «ММК», возможности использования вторичных энергоресурсов далеко не исчерпаны. В рамках Киотского соглашения в настоящее время прорабатывается вопрос строительства комплекса по утилизации конвертерного газа. Утилизация конвертерного газа, кроме снижения загрязняющего воздействия на окружающую среду, позволит сэкономить около 20 тыс. м³/ч природного газа, а установка преобразователей частоты на нагнетателях ККЦ даст экономии электроэнергии 9 МВт/ч. В перспективе строительство ПГУ на 150 МВт на базе турбин ф. Sumitomo, которая позволит эффективно использовать доменный и коксовый газы с выработкой электроэнергии до 150 МВт.

Управление главного энергетика проводит в жизнь единую техническую политику развития и совершен-

ствования энергохозяйства ОАО «ММК», внедрения энергосберегающих мероприятий с учетом отечественного и зарубежного опыта и новейших достижений науки и техники. Сегодня важной проблемой для энергоёмких предприятий является обеспечение надёжности и эффективной работы оборудования. Решить её нельзя без эффективного контроля состояния оборудования с обнаружением всех опасных дефектов на начальной стадии их возникновения и долгосрочным прогнозом их развития. В настоящее время вопросы повышения надёжности и эффективности работы оборудования перешли в разряд «высоких технологий», в которых используются современные методы диагностики и математической статистики, которые основаны на разработке математических моделей и специализированного программного обеспечения.

Постоянно развиваются и совершенствуются системы мониторинга. Введены автоматизированные системы учёта энергоресурсов, включенные в информационную корпоративную сеть, позволяющие всем субъектам, участвующим в потреблении и управлении потреблением энергоресурсов, получать информацию в реальном времени. На основе учёта продукции и потребляемых энергоресурсов в ОАО «ММК» проводится их нормирование для всех подразделений и производственных участков, что создаёт основу для повышения эффективности их использования.

Внедрение нового современного оборудования, передовых энерготехнологий значительно снижает риск возникновения аварий и нештатных ситуаций:

- техногенного характера во всех производственных структурных подразделениях (в газовом хозяйстве, системах промышленного водоснабжения, на объектах производства и потребления продуктов разделения воздуха, гидротехнических сооружениях);
- природного характера (неблагоприятных метеорологических условий, паводков).

В 2010 году, как и во все последние годы, Магнитогорский металлургический комбинат занимает первые строчки в рейтинге лучших производителей черных металлов России и входит в двадцатку крупнейших сталелитейных компаний мира. Он прочно занимает первое место среди российских производителей листового проката и второе – среди производителей изделий дальнейшего передела.

Такие высокие позиции достигнуты за счет глубоких преобразований, проведенных во всех сферах деятельности комбината – производственной, экономической, финансовой, техническом перевооружении, кадровой и социальной политике. Учитывая, что черная металлургия является базовой отраслью экономики России, во многом определяющей ее производственный потенциал, Магнитогорскому металлургическому комбинату принадлежит ключевое значение в формировании темпов и масштабов развития всей страны.

Подводя итог сказанному, уместно вспомнить высказывание В.В. Путина: *«В начале 90-х годов трудно было поверить, что этот гигант административной экономики сможет вжиться в рынок, будет успешно развиваться и займет свое место среди двадцати самых мощных сталелитейных компаний мира... Именно благодаря таким предприятиям, как Магнитка, российская экономика разви-*

ается достаточно динамично...» и еще «Магнитка – наглядный пример тех положительных перемен, которых удалось добиться в стране за последние годы».

Список литературы

1. Никифоров Г.В. Магнитогорский металлургический комбинат в истории России // Изв. вузов. Электромеханика. 2006. № 4. С. 4 – 7.
2. Никифоров Г.В., Карандаев А.С. Совместные разработки ОАО «ММК» и Магнитогорского государственного технического университета в области энергосбережения (Часть 1: Энергосбережение в электроприводе) // Труды IV Международной (XV Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу «Автоматизированный электропривод в XXI веке: пути развития» (АЭП-2004). Ч. 2. Магнитогорск, 2004. С. 203 – 208.
3. Никифоров Г.В., Карандаев А.С. Совместные разработки ОАО «ММК» и Магнитогорского государственного технического университета в области энергосбережения (Часть 2: Энергосбережение средствами электропривода) // Труды IV Международной (XV Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу «Автоматизированный электропривод в XXI веке: пути развития» (АЭП-2004). Ч. 2. Магнитогорск, 2004. С. 209 – 215.

4. Журавлев Ю.П. Развитие энергетики ОАО «ММК» в современных условиях // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2006. № 2. С. 3 – 5.

Bibliography

1. Nikiforov G.V. Magnitogorsky iron-and-steel works in the history of Russia//Izv. High schools. Electromechanics. 2006. № 4. - with. 4–7.
2. Nikiforov G. V., Karandaev A.S. joint of development of open joint-stock company «ММК» and Magnitogorsk state technical university in the field of an energy conservation (the Part 1: the Energy conservation in the electric drive)//Works of IV International (XV All-Russia) conferences on the automatic electric drive «the Automatic electric drive in the XXI century: development paths» (АЭП-2004). Ч. 2. – Magnitogorsk, 2004. - With. 203–208.
3. Nikiforov G. V., Karandaev A.S. joint of development of open joint-stock company «ММК» and Magnitogorsk state technical university in the field of an energy conservation (the Part 2: the Energy conservation electric drive means)//Works of IV International (XV All-Russia) conferences on the automatic electric drive «the Automatic electric drive in the XXI century: development paths» (АЭП-2004). Ч. 2. – Magnitogorsk, 2004. – With. 209–215.
4. Zhuravlyov JU.P. development of open joint-stock company «ММК» power engineering in modern conditions//the Bulletin of MGTU of G.I.Nosova, 2006. № 2. – with. 3–5.

УДК 621.313.333

Корнилов Г.П., Храмшин Т.Р., Карандаева О.И., Губайдуллин А.Р., Галлямов Р.Р.

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПРИ НАРУШЕНИЯХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ*

Большинство энергетических предприятий - это набор насосных станций для перекачивания потребляемой и потребленной жидкостей; это набор самых разнообразных вентиляторов, дымососов, компрессоров и прочих агрегатов, предназначенных для нагнетания, охлаждения, создания разрежения и т.п.; это очистные сооружения, где также много насосов и трубопроводной (водопроводной и канализационной) сети [1]. Отечественный и зарубежный опыт свидетельствует о высокой эффективности частотно-регулируемого электропривода (ЧРП) в системах водоснабжения, теплоснабжения, вентиляции, воздушного отопления, при производстве электроэнергетики и пара. Например, в водоснабжении за счет перехода на частотное регулирование экономия электроэнергии достигает 50%, воды – 15%, тепла – 10%, сокращается вдвое ремонт арматуры, исключаются гидравлические удары, обеспечиваются удобная диспетчеризация и учет энергоносителей. Срок окупаемости новой техники, как правило, не превышает 1 года [2].

Приведенные преимущества не учитывают того факта, что асинхронный двигатель (АД) работает совместно с преобразователем частоты (ПЧ). Незнание ряда особенностей их совместной работы может привести, в лучшем случае, к нерациональному использованию привода, а в худшем – к серьезному снижению надежности электроустановки.

Известно, что ПЧ «не любит» провалы напряжений, а тем более кратковременные отключения, приводящие к срабатыванию защиты и отключению элек-

тропривода [2]. Статистика показывает увеличение числа аварийных отключений оборудования, технологические механизмы которого оснащены частотно-регулируемым приводом переменного тока. Причиной этого является увеличение длительности перерывов в работе электродвигателей, питаемых от преобразователей частоты, при кратковременных (1-2 с) нарушениях электроснабжения [3]. На ряде объектов это приводит к многомиллионным потерям, поэтому проводятся разработки по повышению устойчивости ЧРП при кратковременных отклонениях напряжения сети.

Классическим техническим решением, обеспечивающим предотвращение отключения электропривода при нарушении электроснабжения (пропадании или снижении питающего напряжения ниже заданного уровня), является переход на резервное электропитание. При этом используется ручной или автоматический ввод резерва. При автоматическом режиме (рис. 1) производится контроль входного напряжения по двум вводам и при необходимости переключение на резервный ввод [1]. После переключения питания электроприводы вводятся в работу автоматически.

Однако, как показано в [4], автоматическое включение резерва на период паузы 2–3 с не является рациональным решением, а создание собственного быстродействующего АВР проблематично как с точки зрения усложнения схемы электроснабжения, так и внесения проблем в сферу электроснабжения по селективности и равномерности загрузки вводов электропитания.

Низкая устойчивость существующих схем построения преобразователей частоты обусловлена тем, что энергия, накопленная в фильтре звена постоянного тока, недостаточна для поддержания устойчивой

* Работа проводилась при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям (государственный контракт № 02.740.11.0755).

коммутации вентилях автономного инвертора, в результате чего происходят его опрокидывание и отключение ЧРП. Повышение устойчивости ПЧ при кратковременных нарушениях в системе электропитания может быть обеспечено за счет разработок по следующим направлениям:



Рис. 1. Схема автоматического перевода насосов на резервное электропитание

1. Совершенствование алгоритмов управления ПЧ.
2. Установка накопителей энергии и аккумулирующих устройств.
3. Электропитание ПЧ от двух вводов.
4. Использование специальных многообмоточных двигателей: вентильного либо асинхронного с двумя статорными обмотками.

В [5] в качестве одной из основных задач при создании высоковольтных ПЧ для регулируемого электропривода названо совершенствование функций микропроцессорного управления:

- автоматический перезапуск (рестарт) ЧРП при восстановлении напряжения после его глубокого снижения или перерыва электроснабжения с быстрым поиском или определением текущей частоты вращения выбегающего электропривода;
- подхват преобразователем частоты вращающегося электродвигателя, что необходимо в системе группового управления несколькими параллельно работающими АД при отключении одного из них от сети электроснабжения и переводе его в режим работы с регулируемой частотой вращения;
- режим синхронного байпаса, обеспечивающего переключение электродвигателя на сеть в режиме точной автоматической синхронизации.

Ниже приводится краткий анализ разработок по перечисленным направлениям.

Системы с накопителями энергии

Схема ЧРП с аккумулирующим устройством представлена на **рис. 2** [2]. В качестве накопительного устройства могут использоваться аккумуляторные батареи, маховик (либо маховые массы механизма), специальные электронные устройства с электропитанием от сети собственных нужд.

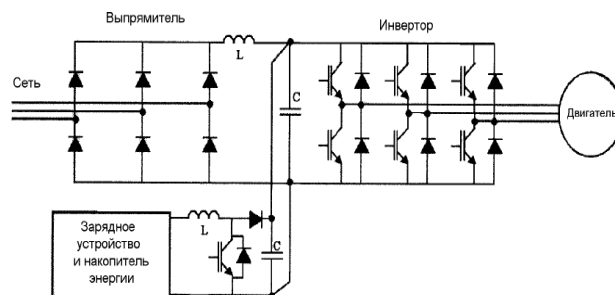


Рис. 2. Схема ЧРП с накопителем энергии

В развитие данной идеи авторами сформулирован новый принцип обеспечения бесперебойного электропитания особо ответственных потребителей без применения быстродействующих АВР и специальных двигателей. Суть его заключается в следующем: каждый преобразователь частоты снабжается двумя комплектами выпрямителей, выходы которых подключены к общему звену постоянного тока (**рис. 3**). Входы выпрямителей подключены к двум секциям, одна из которых (секция I) является основной и обеспечивает питание в нормальных режимах, дополнительная секция II служит для поддержания работы приводов при провалах напряжения на основной секции.

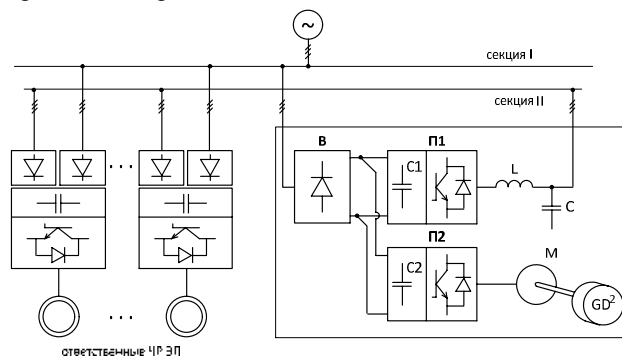


Рис. 3. Схема бесперебойного питания ответственных потребителей с электромеханическим накопителем энергии

Отличительной особенностью данного подхода является то, что электрическую энергию секция II получает не от резервного ввода, а от специального электромеханического накопителя энергии. Задача состоит в обеспечении непрерывности электропитания особо ответственных потребителей при провалах напряжения на основных шинах; она решается благодаря двум принципам, заложенным в конструкцию устройства – это:

- накопление достаточной активной энергии и сохранение ее до перерыва в электропитании;
- использование запасенной энергии путем ее преобразования в электрическую с заданными параметрами.

Совершенствование систем управления ЧРП

В непосредственной связи с принципом рассмотренных электроприводов с накопителями электрической энергии находятся способы управления, использующие для поддержания момента электродвигателя

при провалах напряжения энергии собственных вращающихся масс. Однако при этом необходимо исключить торможение двигателя вследствие гашения поля ротора. Это осуществляется за счет отключения его от источника питания на время перерывов электроснабжения, т.е. перевода в режим свободного выбега. Для сокращения длительности таких перерывов наряду с рабочими режимами управления преобразователем предусматриваются специальные режимы управления.

Основным является способ управления преобразователем частоты, согласно которому при нарушении электроснабжения прерывают рабочий режим управления и снижают с ограниченной скоростью выходную частоту, а при возобновлении электропитания повышают ее и восстанавливают рабочий режим управления [6]. Преобразователь, управляемый по этому способу, при кратковременных нарушениях электроснабжения поддерживает на заданном уровне напряжение звена постоянного тока за счет рекуперации энергии инерционного вращения электродвигателя и сопряженного с ним механизма. Такой способ управления при нарушениях электроснабжения характерен для большинства ПЧ, представленных на российском рынке.

Недостаток данного способа управления состоит в следующем. Следствием снижения выходной частоты преобразователя, которое предусматривается в данном способе, является приложение тормозного момента к ротору электродвигателя. Поэтому электродвигатель и приводимый технологический механизм, продолжая инерционное вращение (с постепенной потерей производительности), ускоренно замедляют вращение и при возобновлении электроснабжения начинают разгон с меньшей скорости. В результате время разгона механизма до требуемой скорости вращения увеличивается и соответственно увеличивается длительность перерыва в нормальной работе механизма. Кроме того, следствием ускоренного замедления вращения приводимого механизма является повышение вероятности срабатывания технологической защиты оборудования при кратковременных нарушениях электроснабжения.

Для устранения указанного недостатка в [7] предложен способ управления преобразователем частоты, обеспечивающий улучшение начальных условий разгона электродвигателя и замедление падения скорости вращения приводимого технологического механизма. При управлении ПЧ со звеном постоянного тока и инвертором напряжения с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) при нарушении электроснабжения прерывают рабочий режим управления, сохраняют выходную частоту, снижают выходное напряжение со скоростью, которую ограничивают, поддерживая на заданном уровне напряжение звена постоянного тока, и запирают инвертор, а после восстановления электроснабжения включают инвертор, повышают выходное напряжение и возобновляют рабочий режим управления. Схемы и описание работы устройств, реализующих способ, представлены в [7, 8].

Способ имеет развития и уточнения для частных случаев его реализации, которые состоят в том, что [7]:

– момент запирающего инвертора устанавливают путем отсчета заданной задержки от момента снижения

выходного напряжения до заданной величины или от момента фиксации нарушения электроснабжения;

– после восстановления электроснабжения выходную частоту устанавливают равной или пропорциональной ее сохраненному значению или в соответствии с фактической частотой вращения электродвигателя, питаемого преобразователем;

– после восстановления электроснабжения повышают выходное напряжение со скоростью, которую ограничивают, поддерживая на заданном уровне пусковой ток электродвигателя, питаемого преобразователем.

Использование ПЧ с двумя вводами

Ряд авторов предлагает решение рассматриваемых проблем электропривода средствами самого электропривода. Поэтому в [9, 10] предложены системы ЧРП, обеспечивающие безостановочную работу ответственных механизмов с использованием электропитания от двух или более вводов, одновременное нарушение по которым маловероятно. Так, в [9] поставленная задача решается тем, что создается резервирование автономного инвертора напряжения на уровне звена постоянного тока. Для этого частотный преобразователь снабжается вторым звеном постоянного тока, входы которого через автоматический выключатель подключены к резервному источнику питания, например к другой секции питающей сети (рис. 4, а). В случае просадки напряжения на одном из питающих вводов напряжение на входе фильтра остается неизменным, что обеспечивает стабильную работу инвертора.

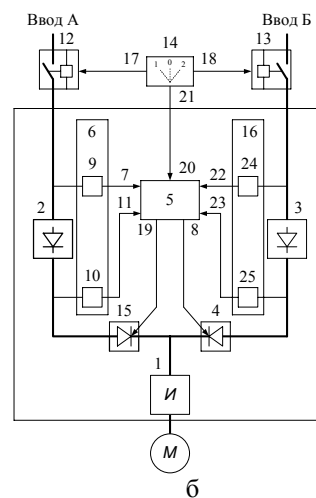
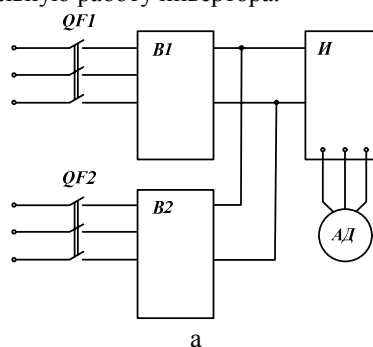


Рис. 4. Схемы электроприводов с двухвходовыми ПЧ: а – согласно [9]; б – согласно [10]

В [10] отмечены недостатки данного устройства, основным из которых является бесконтрольное переключение электропитания ПЧ с одного ввода на другой при колебаниях величины напряжения на вводах или динамическом изменении потребления тока инвертором. Ввиду отсутствия приоритетности электропитания данного электропривода от определенного ввода, могут иметь место осложнения для электропитания других потребителей. В результате надежность работы электропривода при нарушениях электропитания снижается.

Для устранения указанного недостатка разработан двухвходовой ПЧ, в котором повышение надежности обеспечивается путем исключения бесконтрольного переключения электропитания с ввода на ввод [10]. В условиях нормального электроснабжения один из вводов используется в качестве основного (приоритетного), а другой – в качестве резервного; при нарушении электроснабжения по основному вводу осуществляется автоматическое переключение с основного ввода на резервный.

Схема электропривода, обеспечивающего техническую реализацию способа, представлена на **рис. 4, б**. При наличии напряжения на обоих вводах электропитание инвертора 1 осуществляется от приоритетного ввода, например ввода А через выпрямитель 2 и ключ 15, при этом ключ 4 закрыт, а выпрямитель 3 находится в режиме горячего резерва, то есть на его выходе имеется выпрямленное напряжение. Электропитание выбранного приоритетного ввода контролируется соответствующим блоком 6 или 16 контроля. Нарушение электропитания по приоритетному вводу А блок 5 обнаруживает по сигналу, поступающему на его информационный вход от блока 6. В соответствии с этим сигналом блок 5 формирует команду на замыкание ключа постоянного тока и выдает ее на свой выход 8 или 19 в зависимости от сигнала на своем управляющем входе 20, несущего информацию о сделанном выборе приоритетного ввода. Если приоритетным выбран ввод А, питающий выпрямитель 2, то блок 5 выдает указанную команду на выход 8 и включает ключ 4. Если приоритетным выбран ввод В, питающий выпрямитель 3, блок 5 выдает указанную команду на выход 19 и включает ключ 15.

В [10] также представлены упрощенные варианты преобразователей частоты, реализующих рассмотренный принцип регулирования.

Электропривод на базе вентильно-индукторного двигателя

В [11–14] задача обеспечения устойчивости электропривода при нарушениях электроснабжения решается за счет применения многофазного вентильно-индукторного электродвигателя (ВИД) с независимой обмоткой возбуждения. Известными преимуществами такого класса ВИД являются [12]: отсутствие магнитов на роторе, расширенный диапазон работы при регулировании в цепи независимой обмотки возбуждения, высокая надежность, большая перегрузочная способность, обеспечивающая запас по мощности электродвигателя. Эти достоинства позволяют обеспечить внутреннее оперативное резервирование мощности на случай отказов в преобразователях и возможность кратковременного продолжения работы в

аварийных режимах с использованием заложенного резерва мощности, повышая тем самым надежность работы привода.

Наличие нескольких фидеров сетевого питания и введение устройств автоматического включения резерва, трансформаторов, устройства распределения силового питания, преобразователей частоты, станции управления двигателем и интеллектуальных модулей, позволяют задать необходимый режим работы в случае аварийного пропадания напряжения на одном из фидеров, а также автоматически переключиться на другой фидер с кратковременным использованием во время переключения заложенного резерва по мощности электродвигателя. Вследствие этого электропривод продолжает работать без остановки и потери мощности. При восстановлении напряжения на аварийном фидере обеспечивается обратное переключение и возвращение электропривода в исходный режим работы. Таким образом, обеспечивается непрерывность работы электропривода.

Разработана серия устройств, реализующих изложенный принцип. Согласно [11] в электропривод на базе многофазного ВИД 10 (**рис. 5, а**) с независимой обмоткой возбуждения 8 введены устройства автоматического включения резерва 1, трансформаторы 2, устройство распределения силового питания 3 с коммутационной и защитной аппаратурой, станция управления двигателем 6, преобразователи частоты 4, каждый из которых имеет выходы для питания независимой обмотки возбуждения электродвигателя, а также информационные входы, подключенные к выходу датчика положения ротора 9, все преобразователи частоты соединены между собой локальной промышленной сетью, к которой подключены интеллектуальные модули 5.

Для повышения надежности работы одна часть электропривода получает питание от ФИДЕРА1, а вторая – от ФИДЕРА2. С силовых выходов устройств автоматического включения резерва питание подается на входы трансформаторов напряжения 2, в процессе работы последних напряжение появляется на их выходах и далее передается на независимые входы устройства распределения силового питания 3. В случае пропадания напряжения на одном из фидеров сетевого питания происходит быстрое автоматическое переключения на другой фидер. Во время этого переключения задается необходимый режим работы электропривода с кратковременным использованием заложенного резерва мощности электродвигателя, вследствие чего электропривод продолжает работать без остановки и потери мощности. После переключения на второй фидер необходимость использования резерва по мощности исчезает, и электропривод работает в номинальном режиме. При восстановлении напряжения на аварийном фидере происходит переключение обратно на него, и электропривод возвращается в исходный режим работы, таким образом, обеспечивается непрерывность работы электропривода.

Предложенный вентильно-индукторный электропривод позволяет создать сложные системы электроприводов непрерывного действия с повышенными требованиями к надежности.

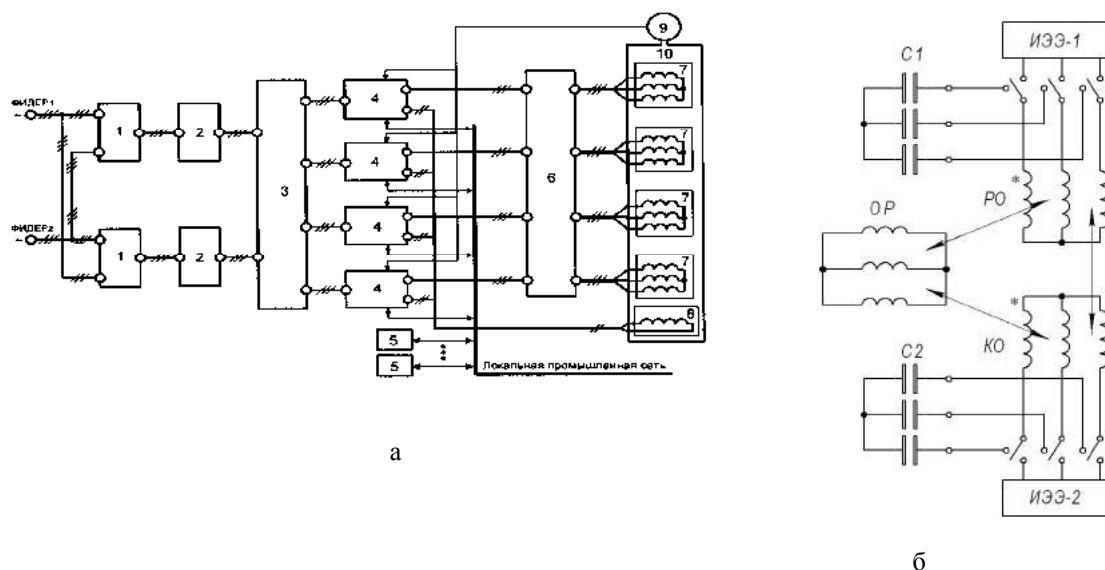


Рис. 5. Схемы электроприводов с питанием от двух секций шин: а – на базе ВИД; б – на базе АД с двумя статорными обмотками

Рассмотренный электропривод, а также решения, предложенные в [13, 14], основаны на рациональном использовании преимуществ многофазного ВИД, позволяющих обеспечить внутреннее оперативное резервирование мощности на случай отказов в преобразователях и возможность кратковременного продолжения работы в аварийных режимах с использованием заложенного резерва мощности, повышая тем самым надежность работы электропривода.

Оригинальное решение, которое представляется перспективным многим специалистам, предложено автором [15]. На базе разработанного и исследованного АД с индивидуальной компенсацией реактивной мощности предлагается схема асинхронного электропривода с питанием от двух источников электрической энергии (рис. 5, б). В настоящее время проводятся исследования предложенного электропривода и ведется подготовка к его промышленному внедрению. Разрабатываются варианты использования данного АД в электроприводах с частотным регулированием скорости.

Список литературы

1. Проекты АСУ технологических процессов и установок с применением частотно-регулируемых приводов. URL: <http://www.promdrive.ru/load/33.pdf>
2. Фролов Ю.М. Состояние и тенденции развития электропривода. URL: <http://www.v-ite.ru/electrotech/2006/01/pdf/2006-01-01.pdf>
3. Тарасов Д.В. Требования к частотно-регулируемым электроприводам насосов и вентиляторов при аварийных режимах в системе электроснабжения котельных // Электрические станции. 2006. №1. С. 52–56.
4. Крылов Ю.А. Разработка энерго-ресурсосберегающих технологий в топливно-энергетическом хозяйстве города на основе современного электропривода: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М.: МЭИ, 2004. 40 с.
5. Лазарев Г. Частотно-регулируемый электропривод насосных и вентиляционных установок – эффективная технология энерго- и ресурсосбережения на тепловых электростанциях // Силовая электроника. 2007. №3. С. 41–48.
6. Преобразователь частоты: руководство по эксплуатации / Компания Emotron. 2004.
7. Пат. 2344538 РФ, МПК H02P 1/00. Способ управления преобразователем частоты при нарушениях электроснабжения / А.А. Ионов, Ю.А. Крылов, А.Н. Ремезов и др. Оpubл. 2009. Бюл. №2.
8. Пат. 72589 РФ, МПК H02P 27/08. Преобразователь частоты / А.А.

- Ионов, Ю.А. Крылов, А.Н. Ремезов и др. Оpubл. 2008. Бюл. №11.
9. Пат. 32333 РФ, МПК H02P 5/00. Устройство регулирования частоты напряжения питания электродвигателей переменного тока / С.Н. Станкевич, Ю.А. Крылов. Оpubл. 2003. Бюл. №25.
10. Пат. 80713 РФ, МПК H02M 5/40. Преобразователь частоты для электропривода непрерывного действия / Ю.А. Крылов, Т.П. Крылова. Оpubл. 2005. Бюл. №5.
11. Пат. 53515 РФ, МПК H02M 5/40. Вентильно-индукторный электропривод / В.Н. Остриров, Д.Е. Корпусов, В.Ф. Козаченко и др. Оpubл. 2006. Бюл. №16.
12. Козаченко В.Ф., Остриров В.Н., Русаков А.М. Перспективные системы экскаваторного электропривода на базе вентильно-индукторных двигателей с независимым возбуждением // Докл. науч.-метод. семинара. М.: Изд-во МЭИ, 2004. С. 101–112.
13. Пат. 66129 РФ, МПК H02M 5/40. Электропривод для непрерывных процессов / А.В. Сорокин, А.Н. Ремезов, Ю.И. Кочанов. Оpubл. 2007. Бюл. № 24.
14. Пат. 2368059 РФ, МПК H02M 5/40. Устройство для питания вентильно-индукторного электродвигателя / А.В. Сорокин, А.Н. Ремезов, Ю.И. Кочанов. Оpubл. 2009. Бюл. № 26.
15. Мугалимов Р.Г. Асинхронные двигатели с индивидуальной компенсацией реактивной мощности и электроприводы на их основе: монография. Магнитогорск: Изд-во МГТУ им. Г.И. Носова, 2011. 250 с.

Bibliography

1. Designs of an automatic control system of processes and installations with application of frequency-controlled drives. <http://www.promdrive.ru/load/33.pdf>.
2. Frolov JU.M. State and trends of development of the electric drive. - <http://www.v-ite.ru/electrotech/2006/01/pdf/2006-01-01.pdf>
3. Tarasov D.V. Demand to adjustable-frequency electric drives of pumps and ventilating fans at crash conditions in system of an electrical supply of boiler-houses/Electrical stations. - 2006, №1. - With. 52-56.
4. Krylov JU.A. Development energy resource-saving production engineering in a fuel and energy equipment of a city on the basis of the modern electric drive: the Abstract dis. ... Drs. teh. Sciences. M.: МЭИ. 2004. - 40 with.
5. Lazarev G. Adjustable-frequency electric drives of pump and fan installations - effective production engineering power- and resource-saving on thermal power stations//Power electronics. - 2007, №3. - with. 41-48.
6. Company Emotron. The Frequency converter. The operating manual. - 2004
7. The Way of running of the frequency converter at losses of supply / A.A. Ionov, JU.A.Krylov, A.N.Remezov, etc./the Patent of the Russian Federation № 2344538, МПК H02P 1/00. Print. 2009. Pat. №2.
8. The Frequency converter / A.A. Ionov, JU.A.Krylov, A.N.Remezov, etc./the Patent of the Russian Federation № 72589, МПК H02P 27/08. Print. 2008. part. №11.
9. The Arrangement of frequency control of a supply voltage of electric motors of an alternate current / S.N.Stankevich, JU.A.Krylov/the Patent of the Russian Federation № 32333, МПК H02P 5/00. Print. 2003. Pat. №25.
10. The Frequency converter for the electric drive of continuous operation / JU.A.Krylov, Etc. Krylov/the Patent of the Russian Federation № 80713,

- МПК H02M 5/40. Print. 2005. Pat. №5.
11. Valve-inductor the electric drive / V.N.Ostirrov, D.E.Korpusov, V.F.Kozachenko, etc./the Patent of the Russian Federation № 53515, МПК H02M 5/40. Print. 2006. Pat. №16.
 12. Kozachenko V. F., Ostirrov V. N., Rusakov A.M. Perspective's system excavating the electric drive on baseline valve-inductor separately excited motors. Doc. nauch.-method. A seminar. - M: Publishers MEI, 2004. - With. 101-112.
 13. The Electric drive for continuous processes/A.V. Sorokin, A.N.Remezov, JU.I.head/the Patent of the Russian Federation № 66129, МПК H02M 5/40. Print. 2007. Pat. № 24.
 14. The Arrangement for power supply valve-inductor the electric motor/A.V. Sorokin, A.N.Remezov, JU.I.head/the Patent of the Russian Federation № 2368059, МПК H02M 5/40. Print. 2009. Pat. № 26.
- Mugalimov R.G. Asynchronous motor with an individual reactive power compensation and electric drives on their ground: the monography. - Mag-nitogorsk: MGTU Publishers, 2011. - 250 with.

УДК 621.333

Омельченко Е.Я.

МАГНИТОДВИЖУЩИЕ СИЛЫ ДВУХФАЗНЫХ ОБМОТОК АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В настоящее время для подвижного состава, используемого для металлургической промышленности, разрабатываются и испытываются системы регулируемого электропривода по системе «преобразователь частоты – асинхронный двигатель» на базе двухфазных асинхронных короткозамкнутых двигателей. Разработка новых систем электропривода и анализ существующих требует разработки строгих математических моделей электрических машин [1]. Важную роль при этом играет конфигурация магнитного поля, которая зависит от конфигурации магнитной цепи и свойств магнитных материалов, от конструкции обмоток, уложенных в пазы, и токов, протекающих по фазам обмоток. От правильности расчета магнитной индукции вдоль зазора зависят величина и форма индуцируемых в обмотках ЭДС, а также величина и характер электромагнитного момента машины, используемых при математическом моделировании электропривода.

Целью статьи является разработка методики расчета результирующих магнитодвижущих сил и волны магнитодвижущих сил, их анализ в зависимости от конструкции и количества фаз обмоток. Для этого необходимо разработать методику расчета магнитодвижущих сил распределенных многослойных обмоток двухфазных машин, выполнить гармонический анализ полученных кривых и оценить результаты.

Построение МДС фазной обмотки обычно [2–4] выполняется с учетом распределения катушек по пазам, но не учитывается распределение катушки по ширине паза. Имеющиеся результаты показывают, что на ширине пазового деления величина МДС, а значит, и величина магнитной индукции остаются постоянными. Переход величины МДС от одного паза к другому происходит по оси паза скачком. Есть участки, когда по всей ширине паза МДС равна нулю. Однако реальное магнитное поле в зазоре имеет более равномерную картину, поэтому полученные результаты не совсем точны. Представление катушечной группы, полностью распределенной вдоль зазора на длине q [2], дает более равномерную картину распределения МДС. Однослойная фазная обмотка в этом случае описывается трапецеидальной периодической волной, а двухслойные обмотки имеют более сложные формы, зависящие от коэффициента укорочения.

Этот подход можно считать более правильным и его следует рассмотреть более подробно с учетом пазового деления и схем расположения катушечных групп.

Чтобы рассчитать форму пространственной обмоточной функции в зависимости от схемы обмотки, необходим анализ формирования намагничивающих сил в зависимости от ширины проводников, ширины паза, величины скоса пазов. Зазор электрической машины постоянен, существенно меньше размеров пазов и зубцов, поэтому магнитное поле в зазоре δ будем считать как плоско-параллельное, а описание намагничивающих сил, индукций вдоль воздушного зазора будем выполнять, используя линейную развертку по углу Θ .

Стоячая волна МДС элементарной катушки, состоящей из одного витка тонкого провода, пропускающего постоянный ток i , имеет прямоугольную симметричную форму с амплитудой $i/2$ и периодом 2τ ($F=\pm i/2$). Изменение знака МДС происходит в точках заложения проводников. Анализ влияния толщины проводника на форму волны МДС выполняется по этапам:

- проводник представляется прямоугольником с высотой h и шириной b ;
- прямоугольник по вертикали разбивается на элементарные проводники высотой h и основанием Δb , стремящимся к нулю;
- плотность тока во всех элементарных проводниках одинаковая.

В этом случае МДС каждого элементарного проводника будет иметь прямоугольную симметричную форму с амплитудой $i\Delta b/(2b)$. МДС каждого элементарного проводника сдвинута по отношению с соседней на Δb . Результирующая МДС проводника равна сумме МДС элементарных проводников и представляется при $\Delta b \rightarrow 0$ в виде симметричной трапеции высотой $i/2$. Горизонтальная проекция наклонного участка трапеции равна ширине проводника b . В конкретном случае на интервале от 0 до b линейная плотность тока прямоугольного проводника $A=i/b=const$. Высота проводника h на линейную плотность не влияет. Аналогичные рассуждения справедливы для группы проводников, уложенных в прямоугольный паз, где в качестве параметров b и h будут фигурировать ширина и высота паза.

В общем случае с учетом ширины проводника или паза поведение волны МДС по пазам n можно рассчитать с помощью интеграла

$$F(n) = 1/2 \int_{n_1}^{n_1+2\tau} A(n)dn + F_0, \quad (1)$$

где $A(n)$ – линейная плотность тока проводника (паза), А/м; F_0 – начальное значение F при n_1 .

По всем катушечным группам распределенной обмотки протекает одинаковый фазный ток, поэтому МДС обмотки складывается из МДС катушечных групп и её форма в конечном случае определяется схемой заложения обмотки. Для расчета МДС распределенных обмоток будем считать, что **линейная плотность тока паза на длине пазового деления постоянна**. В связи с этим уравнение МДС фазной распределенной обмотки представляется в виде пульсирующей пространственно-временной функции

$$F_i(n, t) = W \cdot q / 2 \cdot Q_i(n) \cdot i_i(t) = W \cdot q \cdot I_M / 2 \cdot f_i(n, t), \quad (2)$$

где W – число эффективных проводников в пазу; A ; $Q_i(n)$ – относительная пространственная обмоточная функция i -фазы, о.е., $i_i(t) = I_M \cos(\Omega t - \Delta_i)$ – мгновенное значение тока эффективного проводника i -фазы, А; $f_i(n, t)$ – относительная пространственно-временная функция.

Число эффективных проводников в пазу W связано с фактическим числом проводников в пазу W_i соотношением $W = K_{PI} W_i$, где K_{PI} – коэффициент распределения обмотки первой гармоники

$$(K_P = \sin(\frac{\pi}{2m}) / q / \sin(\frac{\pi}{2mq})).$$

Обычно пространственные обмоточные функции [3] рассчитывались для сосредоточенных катушек с учетом распределения обмотки только по пазам. В рассматриваемом варианте относительная пространственная обмоточная функция $Q(n)$ (ОПОФ) описывает поведение суммарной МДС элементарных катушек ($W=1$) с током 2 А, заложенных в пазы в соответствии со схемой обмотки, и может быть рассчитана в соответствии с уравнением (1)

$$Q(n) = 2/q \int_{n_1}^{n_1+2\tau} a(n)dn + Q_0, \quad (3)$$

где $a(n)$ – относительная линейная плотность тока элементарного проводника, 1/рад; n – полюсная координата по длине зазора; Q_0 – начальное значение $Q(n)$ при n_1 .

Относительная линейная плотность тока $a(n)$ определяет степень заполнения паза проводниками по отношению к W . Так, при полностью заполненном пазе на протяжении пазового деления $a=1$. Если паз заполнен проводниками данной обмотки наполовину, тогда $a=0,5$.

При $Q_0=-1$ функция $Q(n)$ по уравнению (3) изменяется от -1 до +1 на участке заложения проводников обмотки с положительным направлением тока, закон изменения определяется схемой заложения проводников в пазы, а точнее графиком линейной плотности

тока по пазам. Период функции равен двойному полюсному делению 2τ , изменения наклона функции $Q(n)$ происходят при переходе от одного паза с током к другому, поэтому проще строить эту функцию в зависимости от номера паза с последующим приведением к периоду 2π $Q(\Theta) = Q(n)$, где $\Theta = n\pi/r$ – угловая координата по длине зазора, рад. Такое представление относительной пространственной обмоточной функции позволяет легко анализировать поведение МДС обмоток при различном общем числе пазов и пар полюсов.

На рис. 1 показана методика построения относительной пространственной обмоточной функции для двухфазной двухслойной укороченной обмотки фазы А с параметрами $q=3$, $r=6$, $y=5$, $\beta=5/6$. Вначале в таблице указывается схема расположения катушек обмотки по пазам $A_i X_i(n)$ и направления токов в катушках. Далее строится кривая относительной плотности токов по пазам $a(n)$. В заключение по уравнению (3) выполняется графическое интегрирование кривой плотности токов и строится зависимость $Q(\Theta)$. Точка перегиба ОПОФ имеет координаты $\Theta 1$, $Q 1$. Угол сопряжения с $Q=1$ обозначен $\Theta 2$. Для однослойных обмоток $\Theta 1=\Theta 2$ и $Q 1=1$. В таблице представлены параметры ОПОФ двухфазных обмоток ($m=2$). Обозначения обмоток расшифровываются следующим образом: 3b1 – однослойная обмотка с параметрами $q=3$, $r=mq=6$, $y=6$, $\beta=1$; 4b78 – двухслойная обмотка с укороченным шагом и параметрами $q=4$, $r=mq=8$, $y=7$, $\beta=7/8$.

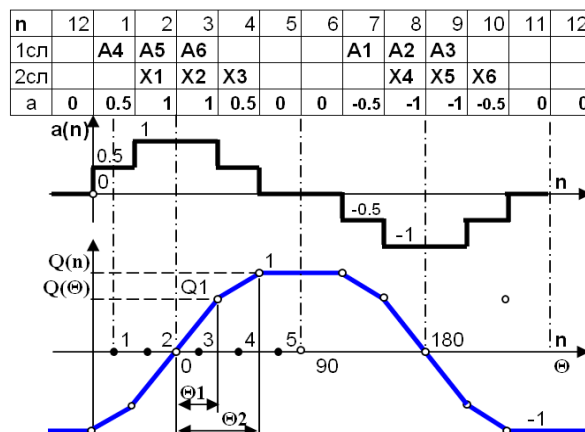


Рис. 1. Построение относительной пространственной обмоточной функции

Параметры ОПОФ однослойных обмоток ($\beta=y/r=1$), представленные в угловых координатах, не зависят от q . Двухслойные обмотки имеют одинаковые параметры при разных q и равных β (см. таблицу).

МДС m -фазной обмотки складывается из МДС фазных обмоток и для любого паза описывается уравнением пространственно-временной функции

$$F_m(n, t) = W \cdot q / 2 \cdot \sum_1^m (Q_i(n) \cdot i_i(t)) = W \cdot q \cdot I_M / 2 \cdot \sum_1^m f_i(n, t), \quad (4)$$

где сумма пульсирующих относительных пространственно-временных функций при $m \geq 2$ создает пространственно-временную волну.

Тип обмотки	2b1 - 6b1	2b34 4b68 6b912	2b24 - 6b612	3b56 6b1012	3b46 6b812	4b78	4b58	5b910	5b810	5b710	5b610
q	2-6	2 4 6	2-6	3 6	3 6	4	4	5	5	5	5
β	1	0,75	0,5	0,833	0,666	0,875	0,625	0,9	0,8	0,7	0,6
y	4-12	3 6 9	2 6	5 10	4 8	7	5	9	8	7	6
n	8-24	8-24	8-24	12 24	12 24	16	16	20	20	20	20
$\Theta_1, ^\circ$	45	22,5	90	30	15	33,75	11,25	36	27	18	9
$\Theta_2, ^\circ$	45	67,5	90	60	75	56,25	78,75	54	63	72	81
Q_1	1	0,5	1	0,666	0,333	0,75	0,25	0,8	0,6	0,4	0,2
K_{P1}	0,924	0,924	0,924	0,911	0,911	0,906	0,906	0,904	0,904	0,904	0,904
Q_{M1}	1,146	1,059	0,811	1,107	0,993	1,124	0,953	1,132	1,09	1,021	0,931
$Q_{M3}\%$	12,7	4,87	9	8,97	0	10,6	2,48	11,3	7,5	2	3,46
$Q_{M5}\%$	4,58	1,75	3,2	1,2	3,96	2,55	4,5	3,24	0	3,24	4,82
$Q_{M7}\%$	2,34	2,16	1,65	0,61	2	0,46	1,3	1,1	1,36	2,31	0,93
$Q_{M9}\%$	1,41	1,31	1	1	0	0,28	0,79	0,22	1,35	0,64	1,31
$Q_{M11}\%$	0,95	0,36	0,67	0,91	0,82	0,53	0,93	0,15	0,9	0,43	0,91
$Q_{M13}\%$	0,68	0,26	0,48	0,65	0,59	0,56	0,13	0,31	0,4	0,67	0,34

Относительная пространственная обмоточная функция идеальной распределенной обмотки описывается синусоидальной зависимостью единичной амплитуды с периодом 2τ . В координатах n и t на рис. 2 по уравнению (4) построены идеальные относительные волны пространственно-временных функций для $m=2$ и 3, амплитуды гребней которых равны $m/2=1,0$ и 1,5 соответственно. Синусоидальный фазный ток имеет амплитуду 2 А и частоту 50 Гц. Расчет выполнен на длину двойного полюсного деления ($n=12$; $q=3$ и 2) и времени, равному периоду колебаний тока 20 мс.

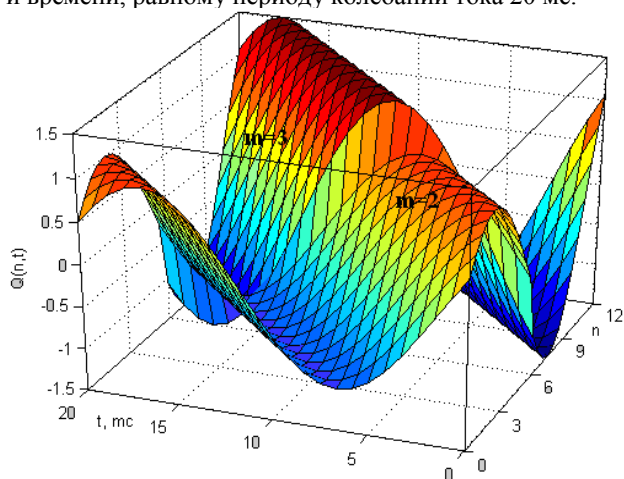


Рис. 2. Идеальные волны пространственно-временных функций для $m=2, 3$

ОПОФ фазной обмотки с целым q содержит косинусные нечетные члены гармонического ряда Фурье

$$Q_i(n) = Q_{M1} \cos(n\pi / \tau) + Q_{M3} \cos(3n\pi / \tau) + Q_{M5} \cos(5n\pi / \tau) + \dots = \sum_{k=1}^{\infty} Q_{Mk} \cos(kn\pi / \tau), \quad (5)$$

где Q_{M1} – амплитуда первой гармоники разложения;

Q_{Mk} – амплитуда k -гармоники разложения в ряд Фурье.

Относительная пространственно-временная волна МДС m -фазной обмотки создается при суммировании пульсирующих пространственно-временных функций отдельных фазных обмоток. Из уравнения (4) с учетом (5) получаем

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m (Q_i(n) \cdot i_i(t)) &= I_M (\sum_{i=1}^m (\cos(\Omega t - \Delta_i) \times \\ &\times \sum_{k=1}^{\infty} Q_{Mk} \cos(kn\pi / \tau))) = I_M (Q_{M1} \times \\ &\times \sum_{i=1}^m (\cos(\Omega t - \Delta_i) \cdot \cos(n\pi / \tau - \Delta_i)) + \\ &+ \sum_{i=1}^m (\cos(\Omega t - \Delta_i) \cdot \sum_{k=3}^{\infty} Q_{Mk} \cos(kn\pi / \tau))). \end{aligned} \quad (6)$$

Первое слагаемое уравнения (6) представляет собой идеальную относительную волну пространственно-временной функций, умноженную на Q_{M1} . Второе слагаемое (6) представляет собой переменную составляющую, на которую реальная волна МДС отличается от идеальной. Для однослойной обмотки $Q_{Mk} = 8m / (k\pi)^2 \cdot \sin(k\pi / 2m)$. В частности для $k=1$ и $m=2$ $Q_{M1} = 16 / \pi^2 \sin(\pi / 4) = 1,1463$. Для $k=1$ и $m=3$ $Q_{M1} = 24 / \pi^2 \sin(\pi / 6) = 1,2158$. Коэффициенты разложения для двухфазных обмоток представлены в таблице. Коэффициенты Q_{Mk} однослойных обмоток больше соответствующих коэффициентов двухслойных обмоток, что доказывает лучшее приближение к синусоиде последних. Лучшими по составу высокочастотных гармоник следует выделить обмотки с $\beta=5/6=0,833$ и $\beta=4/5=0,8$ за счет оптимального гашения пятой и седьмой гармоник.

Для сравнения на рис. 3 представлены МДС двухфазных обмоток, рассчитанные по уравнению (3) для однослойной обмотки с характеристиками $q=3$,

$r=mq=6$, $y=6$, $\beta=1$ (а) и двухслойной обмотки с характеристиками $q=3$, $r=mq=6$, $y=5$, $\beta=5/6$ (б). Все волны двухфазных однослойных обмоток на периоде колебания волны $T=20$ мс и $n=2r$ имеют дополнительные максимумы и минимумы с четырехкратной частотой. Появление этих колебаний объясняется отличием ОПОФ обмотки от синусоиды и присутствием высокочастотных составляющих. Величина этих максимумов дополнительно влияет на насыщение магнитной системы машины и появление высокочастотных колебаний электромагнитного момента. Волна МДС двухслойной обмотки имеет дополнительные максимумы и минимумы с четырехкратной частотой (см. рис. 3, б) но значительно меньшие по сравнению с однослойной.

На рис. 4 представлены зависимости максимумов волн пространственно-временных функций для $m=2$. Максимум волны МДС однослойной обмотки 2q3b1 равен 1,414 и превышает установившийся гребень волны на 41,4%. Максимум волны МДС двухслойной укороченной обмотки с $\beta=5/6$ равен 1,199 и превышение над установившимся гребнем волны составляет 19,9%.

Для сравнения максимум волны МДС однослойной трехфазной обмотки равен 2,025 и превышает на 15,5% установившийся гребень волны. Максимум волны МДС двухслойной обмотки с $\beta=5/6$ равен 1,8 и превышение над установившимся гребнем волны не более 4%.

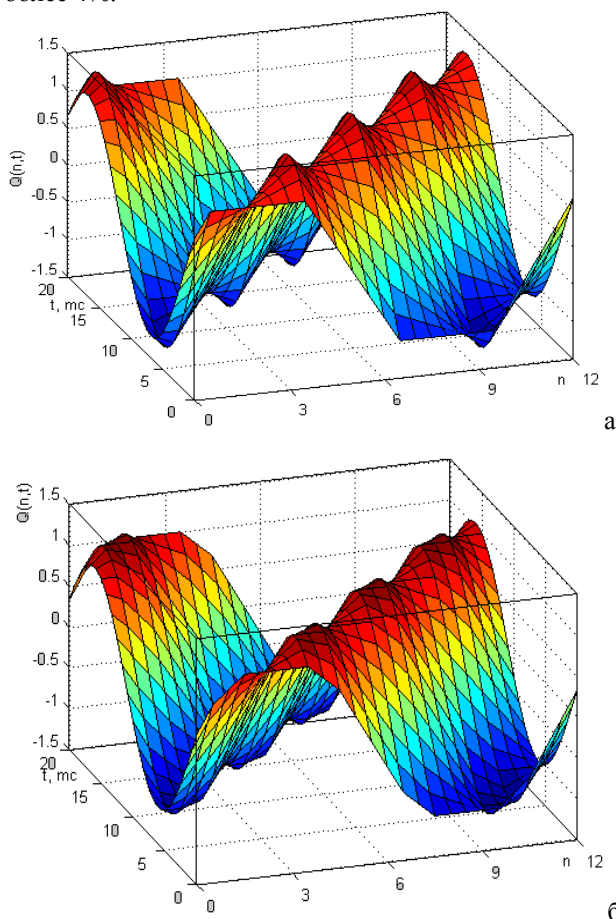


Рис. 3. Пространственно-временные волны МДС двухфазных обмоток $\beta=1$ (а) и $\beta=5/6$ (б)

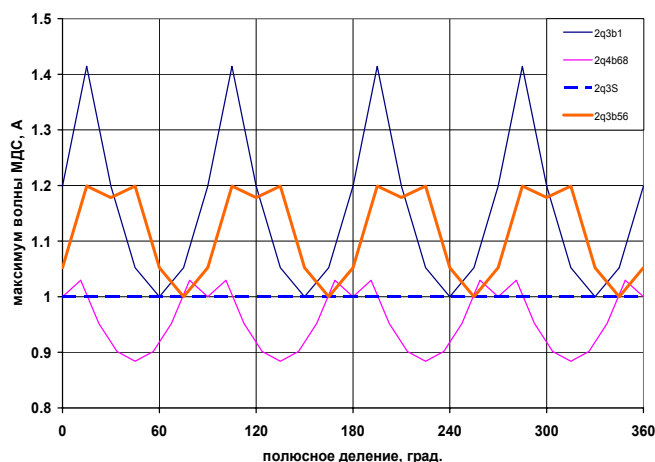


Рис. 4. Максимумы волн пространственно-временных функций двухфазных обмоток

Выводы

1. Расчет МДС фазной обмотки по постоянной плотности тока на длине пазового деления даёт более точные результаты распределения МДС.

2. Пространственно-временная волна МДС многофазной обмотки дает лучшее представление о распределении намагничивающих сил в зазоре машины переменного тока.

3. Волны двухфазных и трехфазных однослойных обмоток на периоде колебания волны имеют дополнительные максимумы и минимумы с четырехкратной и шестикратной частотой и превышение над установившемся гребнем волны на 41,4 и 15,5% соответственно.

4. Превышение над установившимся гребнем волны для двухфазных и трехфазных двухслойных обмоток с $\beta=5/6$ равны 19,9 и 4% соответственно.

Список литературы

- Омельченко Е.Я. Математическая модель асинхронного электродвигателя с фазным ротором // Электротехника. 2007. № 11. С. 19–24.
- Костенко М.П., Пиотровский Л.М. Электрические машины. Ч. 2. М.: Энергия, 1965. 704 с.
- Копылов И.П. и др. Проектирование электрических машин. М.: Высш. шк., 2005. 767 с.
- Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 654 с.

Bibliography

- Omelchenko E.Ya. Mathematical Model of Induction Motor with Phase Rotor/ Electrical Engineering. – M. 2007, № 11. – p. 19–24.
- Kostenko M.P., Piotrovsky L.M. Electrical Machines. Part 2. – M-L.: Energy, 1965. – 704p.
- Kopylov I.P. and others. Designing of Electrical Machines. – M.: Higher School, 2005. – 767p.
- Shreiner R.T. Mathematical Modeling of Alternating Current Drives with Semiconductor Frequency Changers. – Ekaterinburg: UrO RAN, 2000. – 654 p.

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ СТРУЙНО-ПЛАЗМЕННОЙ КОВШОВОЙ ОБРАБОТКЕ РАСПЛАВА СТАЛИ

Обзор современных ковшовых технологий, связанных с электродуговым нагревом стали в агрегатах типа печь-ковш (АПК) и вакууматор, показал, что скорость протекания технологических операций, характер и эффективность нагрева расплава полностью определяются режимом работы применяемых электродуговых устройств (ЭДУ). В свою очередь, на их работу влияет группа факторов, которые можно классифицировать как внутрисистемные и внесистемные. К внутрисистемным относятся: характеристики электродов, источника питания, аппаратные возможности управления его электрическим режимом, а к внесистемным – организация шлакового режима и барботажа расплава, газодинамика зоны горения дуг, давление в рабочем пространстве агрегата. В реализованных и разрабатываемых в этом направлении установках связь между этими факторами жестко определена. Однако для удовлетворения новых технологических требований к ковшовой обработке желательно снизить роль внесистемных факторов на работу ЭДУ, что повысит эффективность их применения. Опыт работы со струйно-плазменными устройствами показывает, что эта задача может быть решена с их помощью.

Активное использование плазменной техники в ковшовых технологиях сдерживается недостаточной изученностью процессов взаимодействия высокотемпературных струй с расплавом стали и отсутствием новых технологических идей для реализации в крупнотоннажном производстве.

Привлекательность внепечной обработки заключается в возможности использования устройств небольшой мощности, позволяющих лишь компенсировать тепловые потери ковша в ходе обработки. Применение незагрязняющего струйно-плазменного нагрева стали при RH-обработке в вакууматоре, когда снижение температуры металла находится в пределах 60–80°C, создает возможность получения сталей с содержанием S и N на уровне тысячных долей процента, минуя АПК, при вводе в агрегат удельной электрической мощности на уровне 0,05–0,087 МВт/м. Перспективность этого направления подтверждена работами таких фирм, как Финкл Мор, Brymbo Steel Works, ABB, CLECIM, IRSID, USINOR, Daiwa, Vöest-Alpine и др.

Скорость ковшовой обработки определяется интенсивностью массообмена между шлаком и расплавом стали. Ускорение плавления шлака при струйно-плазменном нагреве улучшает рафинировочные процессы (в том числе за счет использования механизма электрохимической обработки). Эксперименты по плавлению шлака показали, что максимальная скорость плавления достигалась при выносе электрического потенциала на шлак. После появления ванны жидкого шлака оказалось возможным осуществлять

его дальнейший нагрев путем включения в цепь электродугового устройства (ЭДУ) в качестве дополнительного электрического сопротивления. При этом создавались условия для рассредоточения (диссипации) дугового пятна на расплаве, увеличения зоны нагрева, что повышало эффективность использования электроэнергии на 10–15%.

При использовании в качестве плазмобразующего газа воздуха с подмешиванием к нему пропана характер токоподвода к шлаку мог быть как диссипированным (размытым), так и дуговым. Переход из одного режима в другой определялся не только характеристиками струи, но и полярностью электродов. Эффективный плазменно-джоулевый нагрев осуществлялся при токах $I > 100$ А. При напряжении холостого хода $U_{xx} = 670$ В максимальная длина дуги за срезом сопла плазматрона достигала 0,1–0,2 м, что превышало длину дуги на азоте на 70–80%. По длине плазменной струи её диаметр вначале увеличивался, а затем резко уменьшался, что объяснялось процессами смещения струи с окружающим воздухом, а также явлениями переноса и рекомбинации. Температура струи с удалением от сопла плазматрона снижалась и, начиная с 0,15 м, среда становилась неэлектропроводной.

Характер выделения тепла Джоуля (тепла сопротивления) в шлаке определялся соотношением сопротивлений в объеме шлака и в зоне контакта его с дугой. Если сопротивление дуги (или двух дуг) значительно превышало сопротивление шлака, то основная доля тепловыделения приходилась на границу раздела дуга-шлак. Эксперименты показали, что для повышения устойчивости горения дуги на шлаке необходимо, чтобы напряжение источника питания без нагрузки (U_{xx}) приблизительно вдвое (1,5–2,5) превышало напряжение под нагрузкой.

Плазматрон, системы его энергообеспечения и источник питания образовывали сложную техногенную структуру, формирующую плазменную струю. Плазменной дуге присуща неустойчивость, подтвержденная теоретическими и экспериментальными исследованиями, которая приводила к непрерывным изменениям геометрических и электрических характеристик дуги в широкополосном спектре частот от 100 до $50 \cdot 10^3$ Гц и влияла на весь процесс ковшовой обработки.

Для ковшовых агрегатов была предложена конструкция, включающая плазматрон и фурменный блок для заглубления в расплав, выполненный на основе графита с защитным покрытием из огнеупорного материала.

Исследования тепловой работы фурмы на математической модели показали, что при коротких нагревах (до 3 мин) тепловое состояние фурмы может сказываться

ваться на энтальпии струи. Расчеты проводили для графитовой втулки толщиной $\Delta R_{вт}=0,02$ м при варьировании толщины внешней огнеупорной футеровки из шамота и магнезита в диапазоне $\Delta R=0,02-0,04$ м. Температура плазменной струи принималась равной $T_{ж1}=300^\circ\text{C}$, коэффициент теплоотдачи со стороны струи $\alpha_2=200$ Вт/(м²·К). Несмотря на высокую осевую теплопроводность графита, сглаживание профиля температур по длине втулки завершалось лишь через 150–180 с после начала работы плазматрона. Увеличение мощности плазматрона (с 37,5 до 40 кВт) приводило к более равномерному нагреву футеровки по длине при повышении скорости нагрева. Измерения энтальпии струи, проведенные при помощи плавящегося датчика тепловых потоков, показали, что в период прогрева фурмы (первые 2–3 мин) энтальпия понижалась на 40–50% за счет потерь тепла на аккумуляцию. Затем потери стабилизировались на уровне 13–16%. Наличие фурмы в среднем на 3–5% ухудшало показатели тепловой работы плазматрона за счет увеличения теплоотдачи в анод от нагретой графитовой втулки.

Для условий погружения прогретой фурмы в расплав стали тепловой режим, близкий к стационарному, наступал через 20–40 с продувки, что далее обеспечивало стабильность тепловых характеристик плазменной струи. Уменьшение толщины огнеупорной футеровки с 0,04 до 0,02 м ускоряло выход фурмы в стационарный режим, но приводило к перегреву огнеупорного слоя со стороны графитовой втулки.

Для продувки расплава стали в опытно-промышленных условиях была разработана фурма из сплошных цилиндрических элементов с водоохлаждаемым узлом крепления к плазматрону, которая была испытана на Восточно-Казахстанском машиностроительном заводе в режиме обработки расплава стали 110Г13Л в ковше азотной плазмой. Использовался плазматрон типа ПРС-75, расход газа составлял $2-2,5 \cdot 10^{-3}$ кг/с. Серия из 15 нагревов показала удовлетворительную работоспособность фурмы, при этом энергозатраты на плавку в печи уменьшились за счет сокращения общей длительности обработки на 10%.

Проведенные исследования показали, что применять огнеупорную защиту перспективно лишь для маломощных продувочных устройств (до 200 кВт) при организации коротких нагревов. В современной технике к плазменным относят различные электродуговые устройства, где дуга принудительно омывается газом. Так как для крупнотоннажных установок специализированные плазматроны до сих пор серийно не производятся, было предложено перевести штатную электродуговую установку переменного тока в плазменно-струйный режим. Для этого на двухпозиционной электродуговой установке переменного тока АКП емкостью 370 т ОАО «ММК» со сборкой из двух электродов $L=3$ м диаметром $D=0,46$ м электроды выполнили полыми, с подачей аргона от специальной системы газоснабжения. Влияние изменения теплового состояния электродов на нагрев расплава в условиях периодических нагревов провели путем сопоставительных расчетов тепловых полей сплошных и полых

электродов путем трехмерного моделирования в пакете прикладных программ ППП Flow Vision, основанном на классических законах гидрогазодинамики и теплопередачи.*

На рис. 1 представлена динамика изменения степени аккумуляции тепла электродом во время работы электродуговой установки (длительность нагревов – по 3 минуты через каждые 7 мин работы). Поверхности расчетной области представляли собой совокупность плоских многоугольников – фасеток, на которых были определены граничные условия. В работе использовалась прямоугольная адаптивная локально измельченная сетка (АЛИС).

Расчетная суммарная продолжительность нагрева для двухпозиционной установки составляла 5–12 мин за цикл обработки (40–50 мин), что соответствовало средней продолжительности «штатного» нагрева металла на АКП. Степень аккумуляции тепла электродом оценивалась

$$\eta_a = \frac{Q_a}{Q_{выд}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $Q_{выд}$ – тепловыделение от дуги, МВт; Q_a – тепло, аккумулированное электродом, МВт

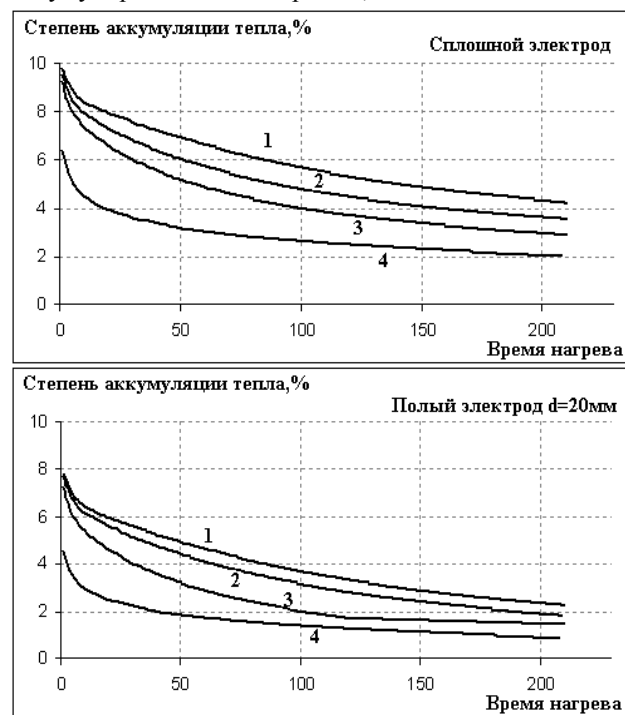


Рис. 1. Динамика изменения степени аккумуляции тепла сплошным и полым электродами. Для всех графиков: 1,2,3,4 – серии из одного, пяти, двадцати и тридцати нагревов соответственно. Время нагрева во всех сериях 3 мин, время между нагревами – 7 мин

* Тепломассообменные процессы в расплаве стали при использовании электродуговых устройств с полыми электродами: монография / Агапитов Е.Б., Бигеев В.А., Ерофеев М.М., Покатаева М.А., Бигеев А.В. Магнитогорск, 2009. 189 с.

Потери тепла на аккумуляцию электродами штатной установки оказались существенными и составили 2–9% от вкладываемой энергии.

Степень аккумуляции тепла у полого электрода оказалась на 30–80% ниже, чем сплошного и изменялась от 5,5% в начале эксплуатации до 1,5% после 20 нагревов. Удельные потери тепла электродами, включающие потери тепла с поверхности электродов и аккумулярованное тепло, у полых электродов диаметром 500 мм снижались на 0,5–3%. (рис. 2).

Удельные потери на нагрев электрода, %



Рис. 2. Гистограмма удельных потерь тепла для различных электродов в зависимости от количества нагревов: – сплошной электрод; – полые электроды с диаметром отверстия 10, 20 и 30 мм соответственно

Разработанная конструкция полых электродов и система управляемой подачи аргона в них была реализована в опытно-промышленном варианте в ККЦ ОАО «ММК».

Анализ электрических характеристик штатной электродуговой установки АПК при помощи специальной системы визуализации, архивации и обработки энергетических характеристик позволил обнаружить, что устойчивость дуги определяет её мощность. Было обнаружено снижение КПД нагрева при возрастании несимметричности работы ЭДУ, под которой понималось различие фазных токов установки более чем на 10%, сопровождающееся резким, скачкообразным изменением электрических параметров ЭДУ. Изменение электрических потерь при этом оценивали по величине изменения значений мгновенной и средней мощности на вторичной стороне трансформатора, которые рассчитывали с помощью специальной программы. Неэффективный дуговой нагрев приводил к тому, что несоответствие заявленного темпа нагрева реальному находилось в пределах от -47,4 до +20%.

Устойчивость горения электрических дуг оценивали по величине дисперсии тока для каждой фазы:

$$D_i = \sqrt{\frac{1}{\tau_u} \int_0^{\tau_u} (I(\tau) - I_{cp})^2 d\tau}, \quad (2)$$

где I – действительное значение тока за период τ ; I_{cp} – среднее значение тока на интервале измерений τ_u .

Максимальный темп нагрева 5°C наблюдался при минимальном изменении электрических параметров, когда значение дисперсии токов находилось на уровне $30\text{--}50 \cdot 10^{-5} \text{ кА}^2$. Работа на нестабильных дугах характеризовалась дисперсией токов на уровне $200\text{--}400 \cdot 10^{-5} \text{ кА}^2$ и приводила к снижению КПД нагрева при повышении удельного расхода электроэнергии.

Для оценки эффективности работы установки с полыми электродами проведен статистический анализ работы агрегата ковш печь. Были отобраны данные по 100 плавкам стали марки 08 как наиболее часто встречающейся в штатном режиме работы и 100 плавков в режиме работы с полыми электродами. Для анализа выбирались плавки, которые проходили сходную между собой типовую обработку.

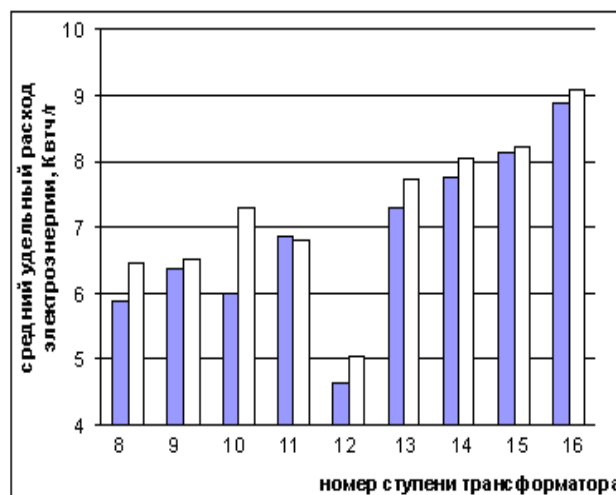


Рис. 3. Сравнение среднего удельного расхода электроэнергии на различных ступенях печного трансформатора при работе на полых (темные столбцы) и сплошных (белые столбцы) электродах

Дисперсия тока при плазменно-струйном режиме не превышала $90 \cdot 10^{-5} \text{ кА}^2$, и проведенное сравнение среднего расхода электроэнергии на различных ступенях печного трансформатора при работе на сплошных и полых электродах (рис. 3) показало снижение расхода на 1,75–6,63%.

Таким образом, стабилизация горения электрических дуг позволяет снизить влияние внесистемных факторов на их работу, что благоприятно сказывается на энергетике процесса внепечной обработки.

ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 658.1

Богатырев С.Ю.

РОЗНИЧНЫЙ МАЛЫЙ БИЗНЕС: ВЫЖИВАНИЕ ЧЕРЕЗ ОЦЕНКУ

1. Роль малого бизнеса в экономике, проблемы развития в России

Малый бизнес в экономике страны, и в частности розничный малый бизнес, имеет большое стабилизирующее значение в экономике как в масштабе большой страны, так и в региональной экономике. В связи с этим, в большинстве экономически развитых государств, получающих за счёт этого сектора экономики более половины доходов на содержание, ему оказывается соответствующее внимание.

В Российской Федерации хотя на законодательном уровне провозглашаются инициативы по развитию малого бизнеса, разработаны и применены налоговые схемы, поощряющие его развитие, в практической плоскости ситуация развивается неблагоприятным для малого бизнеса образом. Эти неблагоприятные тенденции укладываются в следующие три направления:

1. Ограниченное практическое применение законодательных и традиционных бизнес норм по малому бизнесу как государственными структурами, так и предприятиями, обслуживающими бизнес: юридическими, консалтинговыми и оценочными компаниями.

2. Хищническое разорение малого бизнеса крупным капиталом, особенно в самом рентабельном и ликвидном секторе – в сфере реализации продовольственных товаров и одежды. При попустительстве ФАС применяются классические средства, ограничивающие конкуренцию.

3. Волонтаристическое чиновничье попечение законодательно закреплённых местными органами власти правил, действующих разрешений на локальную торговлю, причём как в провинциальных малых городах, так и в столице государства.

В условиях нарождающегося гражданского общества бизнесмены, занятые в малом розничном бизнесе, для отстаивания своих прав и возможностей могут рассчитывать только на себя. Это – фиксация фактов разорения, оценка потерянного бизнеса, составление искового заявления и требование о соответствующей компенсации через суд. Но, как показывает практика, из-за неразработанности многих основополагающих экономических концепций, применительно к малому бизнесу, их закрепления в регулирующих документах, правоприменительной практике, традиционных обычаях делового оборота, они не могут обойтись без помощи экономической науки.

Первый и главный отправной шаг для развёртывания спирали требований бизнесмена, лишённого своей торговой точки, – экономическая оценка ущерба,

полученного от действия или бездействия властей, или из-за ограничения конкуренции федеральной торговой сетью при её выходе на местный рынок. То есть это – оценка малого предприятия, оценка малого бизнеса.

Отрасль экономической науки – Оценка предприятия (бизнеса) – начала развиваться в России сравнительно недавно, в конце девяностых годов двадцатого века. Сама профессия «оценщик» появилась в тарификационном справочнике только в конце предыдущего века. Тем не менее, силами учёных-экономистов и, в первую очередь, основоположника оценки в нашей стране – заслуженного экономиста России, профессора, доктора экономических наук Федотовой Марины Алексеевны основные экономические принципы, причём специально разработанные и адаптированные для российских переходных условий, вошли в Федеральные стандарты оценки, утверждённые приказами Минэкономразвития. Таким образом, на широком уровне оценочных компаний, обслуживающих бизнес в современной экономике, появился действенный инструмент для практической работы.

К сожалению, оценочные компании крайне неохотно идут на контакт с предприятиями малого бизнеса и при оценке для кредитования, и тем более для оценки предприятия с целью компенсации ущерба при его незаконном закрытии или разорении, спровоцированным недобросовестными, запрещёнными законом действиями несопоставимых по размеру конкурентов.

Это происходит по ряду причин.

1. Ограниченность подходов к оценке предприятий малого бизнеса. В связи со спецификой бизнеса чаще всего Доходный подход становится основным при оценке.

2. Подавляющая доля в выручке наличного, причём часто «неучтенного» оборота.

3. В связи с этим, отсутствие или упрощённое ведение бухгалтерского и управленческого учёта. Отсутствие адекватного программного обеспечения по учёту товародвижения – основы построения доходной части для метода дисконтирования денежных потоков доходного подхода.

4. Дороговизна или низкая рентабельность оценочных услуг для розничных предприятий малого бизнеса в связи со значительными кадровыми временными затратами для решения вышеуказанных проблем, возникающих в процессе оценки.

Для выживания розничный малый бизнес вынужден прибегать к неисследованным в экономической науке синергетическим приёмам. Когда в рамках объ-

единения предпринимателей или в составе единой структуры собственности происходит глобальная, в смысле объединения производственно-сбытовых межстрановых возможностей, вертикальная интеграция или диверсификация. При этом, процессы протекают в небольшом масштабе, что не выходит за общепризнанные рамки малого бизнеса. Этот синергетический эффект в малом бизнесе, его исследование и учёт при оценке – тема отдельного большого исследования. В настоящей статье приводятся его основные ориентиры и выводы, связанные с методологией оценки малого бизнеса.

2. Поддержка малого бизнеса на западе

Малый бизнес в странах с англо-саксонской правовой традицией, которой свойственно законодательное закрепление установившихся деловых традиций, показателен органичной интегрированностью малых предприятий в современную экономику.

В некоторых из них он развился настолько, что на равных конкурирует с крупными корпорациями. Как показало последнее исследование Кэти Полисото и Джэфри Ритчера, Федеральная торговая комиссия, основной орган США, регулирующий равные конкурентные возможности, и по могуществу равный полиции, как по возможностям оперативной работы, так и по строгости наказания, назначаемым в результате её расследований, одинаково подходит как к «хорошему парню» с малым бизнесом, так и к «голубым фишкам», получающим необъятное финансирование на фондовых рынках [1].

В США малому бизнесу уже и не надо отбивать свою долю рынка у корпораций-гигантов. За время существования Комитета по малому бизнесу США (United States House Committee on Small Business) [2] малый бизнес Америки получил инкубаторские условия и вырос настолько, что уже развивается на равных с крупными корпорациями-конкурентами. Ещё в 1995 году на заре глобализации во время существования пока только транснациональных корпораций – гигантов, предвидя острое соперничество с заокеанским малым бизнесом, правительство США издало акт [3] к антиitrustовому закону в мировой экономике [4].

Аналогичные меры предпринимали другие государства англосаксонской традиции.

Учитывая большое влияние крупных зарубежных корпораций, с которыми на равных не могли бороться местные малые предприятия в Австралии в конце девяностых годов двадцатого века, был принят Законодательный акт о практике торговли, в котором детально, вплоть до географических наименований, были прописаны нормы по защите местного малого бизнеса на континенте [5].

В Канаде, сохраняя традиции по освоению необъятных территорий за счёт привлечений новых поселенцев, понимают, что самая эффективная форма самоорганизации – малый бизнес. Эта же форма – наиболее экономически эффективный путь разработки новых экономических пространств без значительных вложений в человеческий фактор. Поэтому в билле 2007 года, принятого с учётом проведённой в девяностые годы обширной иммигрантской программы, были закреплены привилегии малого бизнеса и

была отведена ему основная роль [6].

Неужели России с её необъятными неосвоенными просторами не нужен малый бизнес? Опыт успешного развития малого бизнеса на Западе, чёткое законодательное англо-саксонское регулирование – это идеальная модель для создания условий, поощряющих бизнес-процессы малых предприятий в России.

3. Обоснование подхода к оценке розничного малого бизнеса

До разработки информационно-методического материала для решения проблем оценки малых оптово-розничных предприятий с целью минимизации финансово-временных затрат оценщика следует сконцентрироваться на одном из существующих подходов к оценке применительно к малому бизнесу.

При применении сравнительного подхода оценщик может использовать один из трёх методов подхода. Пытаясь определить рыночную стоимость в рамках любого из методов, оценщик сталкивается с проблемой нехватки информации.

При применении метода сделок сравнительного подхода к оценке приходится внимательно анализировать данные как о цене аналога, так и о факторах, определивших эту цену. Трудности возникают и при согласовании общих характеристик. Чаще всего сравнение может быть сделано на основании информации, которая по большей части относится к специфическим мультипликаторам ритейла, а не общеэкономическим показателям. Причём, сравнение с западными аналогами не может применяться из-за различий в условиях работы.

Департамент оценки компании «Магазин готового бизнеса» (МГБ) провел статистическую обработку информации по сделкам, в подготовке которых компания принимала участие. В основном, это предприятия малого бизнеса. Участвующие в исследовании МГБ компании разбиты на три группы. Первая – компании, ведущие бизнес на арендованных площадях с договорами на срок менее года, вторая – с договорами от года до трех, третья – договоры сроком свыше трех лет. Для компаний первой группы мультипликатор «цена/чистая прибыль» оказался равным 1,21, для второй – 1,67. А в третьей группе этот показатель равен 2,33 для ресторанов и только 1,42 – для предприятий торговли (в то время как мультипликатор «цена/стоимость материальных активов» для торговли значительно выше, чем для ресторанов). Это показывает высокую волатильность результатов оценки по этому методу и большую долю субъективизма, привносимого оценщиком при выборе предприятия-аналога.

Как кажется на первый взгляд при применении метода отраслевых коэффициентов для оценки розничного малого предприятия, существует дефицит информационной базы и отсутствие системы оценок и показателей. Это происходит, в принципе, из-за слабой разработанности ритейла, как сложного экономического явления современности, в существующих российских условиях. Если обратиться к уже имеющимся работам, в основном, действующих консультантов в сфере розничной торговли [8] и практическим регламентам розничных предприятий, то

можно разработать и внедрить систему показателей розничного предприятия, на основе которой рассчитать специфические мультипликаторы. Эта работа была проделана. И вот её результаты.

Показатели разделяются по группам в зависимости от оцениваемых качеств бизнеса как товара особого рода [9]: экономика, технология торговли, менеджмент, трудовые ресурсы, маркетинг и использования этих показателей в процессе оценки непосредственно для расчёта специфических мультипликаторов или для подбора предприятия-аналога. Использование этих показателей простирается за рамки сравнительного подхода до применения в доходном подходе.

Для каждого показателя указаны: порядковый номер, название, формула расчёта, единицы измерения, источник данных, оцениваемый критерий.

Общие показатели прибыльности деятельности, используемые для расчёта мультипликаторов, в том числе специфических:

1. Прибыль магазина после прямых расходов магазина. Товарооборот в ценах реализации минус товарооборот в закупочных ценах минус фонд оплаты труда (ФОТ) магазина минус Аренда минус Транспортные расходы минус прочие расходы. В рублях. Товарооборот определяется по данным существующей системы товарного учёта. Затраты – из бухгалтерской программы. Обладает прозрачностью, понятностью, общеупотребительностью, преемственностью, наличием статистики и сопоставимости.

2. Прибыль магазина после прямых расходов магазина, распределённых пропорционально ФОТ торговых подразделений расходов коммерческого отдела, распределённых пропорционально ФОТ общехозяйственных расходов. В рублях. По данным существующей системы товарного учёта определяется товарооборот. Затраты – из бухгалтерской программы. Обладает прозрачностью, понятностью, общеупотребительностью, преемственностью, наличием статистики и сопоставимости.

3. Прибыль магазина после прямых расходов магазина и прямых рекламных расходов.

Общие показатели прибыльности деятельности, используемые для выбора предприятия-аналога.

4. Соответствие оборотного капитала установленному лимиту. Понятность для учредителя.

5. Рентабельность оборотного капитала. Понятность для учредителя. Теряет смысл при убытках.

6. Коэффициент ликвидности (в целом по холдингу, в случае распределения прав собственности между товаропроводящей сетью и снабжающей фирмой) Оборотные активы / Текущие обязательства. В долях единицы. Позволяет оперативно применять меры по предотвращению ситуации, когда кредиторы будут требовать оплаты за поставленный товар, а расплатиться будет нечем.

7. Задолженность/Оборотный капитал. В долях единицы.

Показатели оценки деятельности администрации торговых подразделений используются для выбора предприятия-аналога.

8. Наличие концепции магазина, соответствие магазина концепции. Отвечает на вопрос: понимают ли руководители, ради чего работают они и что они

должны требовать от подчинённых.

9. Регулярный SWOT анализ и корректировка концепции, текущей деятельности. Анализируется ли на предприятии текущая деятельность в соответствии с поставленными целями, принимаются ли текущие управленческие решения для улучшения ситуации.

10. Эффективность работы с арендодателем. Средняя ставка аренды по торговым точкам разделить на среднюю ставку аренды магазина (выборка по заранее установленным критериям) в городе. В процентах. Определяется путём ежемесячного обзвона реальных предложений по аренде целевой торговой площади. Показывает, насколько качественно осуществляется работа с основной затратной статьёй.

11. Наличие отчётов по эффективности рекламы. Ведётся ли продавцами отчёт по данным по какой рекламе клиент зашёл в магазин. Позволяет оценить, насколько эффективна реклама, насколько правильно заказывается руководством предприятия реклама.

12. Наличие отчётов по сегментированию покупателей (потенциальный, новый, реальный, постоянный), листов посещений магазина.

13. Наличие способов привлечения и удержания покупателей, анализ их использования. Должно найти отражение в инструкции продавца и постоянно обновляющихся регламентов.

14. Контроль качества обслуживания покупателей. Контрольные закупки, опрос постоянных клиентов, выборочный опрос при посещениях магазина. Оценивается, контролируется ли персонал.

15. Контроль финансовой дисциплины – проверка возвратов/обмена/заверение ежедневного кассового отчёта. Показывает, насколько данные текущих отчётов расходятся с давно закрытыми отчётами. Выявляет источник злоупотреблений на месте.

16. Коэффициент установочной площади. Площадь оборудования (заполненность товарной массой), делённая на общую площадь торгового зала. В процентах. Показывает эффективность использования торговой площади. Выбирается значение коэффициента в соответствии с концепцией и сравнивается его выполнение.

17. Коэффициент установочной площади по прибыли. Доля товарной категории в реализованной наценке, делённая на долю занимаемой площади. В процентах. Показывает эффективность использования торговой площади в соответствии с принятой стратегией продаж.

18. Соответствие выкладки товара принятой политике продаж на каждый текущий момент времени (по категориям), соответствие выкладки ABC анализу товара. Оценивается в соответствии со стратегией продаж.

Показатели оценки деятельности продавцов, оценивают эффективность менеджмента, управление кадрами. Используются при выборе компании аналога, для оценки несистематического риска при доходном подходе.

19. Коэффициент обслуживания покупателей. Количество чеков разделить на количество посетителей. В процентах. Основывается на основном принципе маркетинга: если человек зашёл в магазин, то у него или было желание что-нибудь купить, либо он

может совершить «импульсную» покупку. Если продавец заинтересовал его купить, то он – продавец. Если покупатель вышел без покупки, без того, чтобы ему задали вопросы «что он хотел», «как он узнал о магазине», что нашло отражение в соответствующем отчёте продавца, то он встретил в магазине ещё один манекен.

20. Коэффициент интервьюирования покупателей. Количество анкет покупателей разделить на количество посетителей. В процентах. Характеризует исполнительность персонала по выполнению вышеописанных показателей.

21. Личные продажи-продажи сотрудника. В рублях. Менее важен, чем показатель, чем коэффициент обслуживания покупателей, так как может навредить при чрезмерном внимании к нему в ущерб общим продажам магазина.

22. Продажи магазина в составе сети. В рублях. Оценка работы всего коллектива.

23. Наличие постоянных покупателей/продажи постоянным покупателям. Отражение в отчётах продавцов, коммерческого департамента. Позволяет оценить, правильно ли ведётся коммерческая работа.

24. Размер чека. Данные по факту в рублях. Из интегрированной в кассу АСУП, например, «Супермаг» (наибольший процент по московским торговым точкам). Оценивает, насколько удалось «раскрутить» клиента.

25. Количество позиций в чеке. Если у клиента мало денег, то продавец обязан навязать ему хотя бы несколько дешёвых предметов.

Показатели оценки деятельности подразделения по закупке. Могут использоваться как для расчётов специфических мультипликаторов, так и для подбора предприятия-аналога.

26. Наличие удобного для работы, понятного при сопоставлении с внешним видом изделия и отнесения к товарной категории прайс-листа. Прайс-лист должен быть рабочим удобным инструментом. Ориентируясь по нему, сотрудник должен в течение не более 1 мин найти нужную позицию одного и того же товара и описать её по востребованности, ценовой нише, сбытовой политике по этой конкретной позиции etc.

27. Соответствие прайс-листа рыночным ценам аналогичных товаров целевого маркетингового сегмента. Оценивает, как цены предприятия соотносятся с аналогичной/близкой ему/любой другой в отсутствие их торгующей организацией, продающей аналогичные товары.

28. ABC анализ – в соответствии с общеупотребительной методикой.

29. XYZ анализ – в соответствии с общеупотребительной методикой.

30. Время обращения (оборачиваемость в днях/месяцах). Средний товарный запас разделить на товарооборот в сопоставимых ценах.

31. Соответствие товаров целям магазина: привлечь покупателя/создать оборот/принести прибыль/удержать покупателя/увеличить объём покупки и средний чек/поддержать имидж / спровоцировать покупку.

32. Выполнение конкретных планов по распродажам определённых типов товаров.

33. Контроль качества товара – обратная связь с продавцами/покупателями (отзывы постоянных покупателей).

Показатели оценки деятельности администрации предприятия, стратегического менеджмента.

34. Наличие миссии компании / соответствие деятельности компании миссии.

Применение затратного подхода. При применении затратного подхода оценщик сталкивается с такой проблемой. В связи с закупкой оборудования, проведением ремонтов помещений за наличный расчёт из личных средств хозяина бизнеса бухгалтерская стоимость активов компании и их фактическая стоимость сильно различаются. Более того, значительная часть активов вообще не учитывается в бухгалтерском и управленческом учете. В связи с этим, оценщику необходимо проводить оценку по рыночной стоимости. Часто, это значительно повышает стоимость активов. В первую очередь – машин и оборудования. Значительная часть вполне работоспособного оборудования имеет нулевую остаточную стоимость, при этом рыночная стоимость этого оборудования может составлять весьма значительную величину.

При анализе запасов их величина уменьшается на товарные неликвиды. У одёжных компаний, так называемая «мода», бывает, составляет до сорока процентов запасов. При этом, распродать их возможно при пятидесятипроцентной уценке от закупочной цены.

При оценке дебиторской задолженности оптовое розничное предприятия из активов вычитается безнадежная дебиторская задолженность. Как показала послекризисная практика, она может составлять до трети всей «дебиторки».

Как видно из вышеизложенного, два основных оценочных подхода могут быть применены для оценки розничного малого бизнеса с очень большими допущениями, доработками. Это ухудшает качество оценки, привносит субъективный фактор.

Может ли третий основной оценочных подход – доходный решить проблемы более эффективной, а значит, точной и дешёвой оценки? Как показывает статистика, в послекризисные девятые годы доля оценок бизнеса, произведённых с применением доходного подхода, в общем объеме оценок составляла около пятидесяти процентов. Применительно к изучаемому явлению существующая ситуация с розничным малым бизнесом напоминает ситуацию девятидесятых: недостаток информации по объекту оценки, слабая научно-методическая база оценки.

Действительно, при практическом применении доходного подхода к оценке малого розничного предприятия проявляются преимущества этого подхода. В условиях ограниченности информационной базы для затратного и сравнительного подходов оценка розничного предприятия сводится к прогнозированию его деятельности в будущем и определению величины доходов, приносимых капиталом хозяина – собственника бизнеса, то есть собственным капиталом в терминологии оценки. Исходная информация о текущих доходах – более проработана и учтена, по сравнению с другими показателями. Перспективы получения будущих доходов определяются на основе прогнозов, которые легко могут быть

подтверждены покупателями бизнеса, такими же бизнесменами, так как товарная специфика им хорошо известна. Часто для этого достаточно наличия одного только прайс-листа и данных о поставщике.

Основная сложность использования данного подхода заключается в том, что предприятия малого бизнеса применяют различные схемы минимизации налоговых обязательств, вследствие чего отчётность предприятия не отражает её действительного финансового положения. Поэтому оценщик обращается к управленческой отчётности «хозяина лавки». При анализе доходов предприятия, прежде всего, определяется реальная цена реализации товаров, не отражённая на счетах баланса, а при анализе расходов учитывается реальная стоимость приобретения товаров, а также реальная заработная плата. Также из-за того, что чаще всего и арендная плата делится на две части, необходимы корректировки и по этой основной затратной статье. Её величина может достигать от 70 до 100% реализованной наценки.

В данном случае точность оценки будет зависеть от того, насколько качественно будет проработан вопрос подготовки информации, нормализации бухгалтерской и управленческой отчётности. Поэтому владельцам предприятия будет выгодно предоставить оценщику дополнительную информацию, выходящую за рамки официальной. В противном случае стоимость компании будет существенно занижена.

4. Практические способы проведения оценки розничного малого предприятия

Как видно из краткого анализа применения подходов к оценке, в любом случае, речь идёт о восстановлении учёта, бухгалтерского или управленческого. Также в рамках работ по оценке проводится целое маркетинговое исследование того или иного канала сбыта. Понятно, что оценочная компания может предложить малому бизнесу свои услуги по оценке таких «запущенных» объектов по высокой цене, так как помимо чисто оценочной деятельности её сотрудникам приходится заниматься большой дополнительной работой. Как решить эту проблему?

Как это не парадоксально, но эта проблема может быть разрешена наличием другой проблемы малого бизнеса, а именно его недостаточным кредитованием.

Из десяти малых предприятий, обращающихся в банк за кредитом, деньги получает лишь одно. Банки боятся финансировать владельцев мелких магазинов и кустарных производств – риски их бизнеса слишком велики, а деятельность непрозрачна [10]. В то же время наблюдается рост предложения по кредитованию малого бизнеса со стороны частных финансовых контор, работающих без банковской лицензии, растёт сегмент банковского потребительского кредитования. То есть, с одной стороны, банки стремятся войти в потребительский сектор как к потребителю, так и в сбытовой сегменту. Существует понимание и реальное доказательство его эффективности. Но нерешённость вышеуказанных вопросов тормозит процесс. При этом в кредитных отделах накоплено уже достаточно информации о малом бизнесе, чтобы обобщить

опыт и создать свои методические инструменты для оценки рисков и определения лимитов. Но эта деятельность выходит за рамки жёстко регулируемой банковской деятельности. Как в области оценки залога банки поручают эту работу своим «родственным» компаниям, так и здесь можно предложить аналогичный выход.

Это организация специализированных консалтинговых финансово-юридических компаний, основная деятельность которых будет состоять в следующем:

1. Восстановление и ведение бухгалтерского и управленческого учёта на розничных малых предприятиях.

2. Исследование рынка продукции и применение готовых шаблонов при прогнозировании доходов.

3. Подготовка блока нормализованной бухгалтерско-управленческой информации для передачи оценочной компании при оценке бизнеса.

4. Исследование наличия синергетического эффекта и диверсификации и учёт их влияния при оценке малого предприятия.

Как показывает краткий анализ существующего положения дел в малом бизнесе, эта услуга востребована и подтверждена платежеспособным спросом. Более того, консалтинговые юридические компании, осуществляющие помощь малому бизнесу, имеют поддержку на местном властном уровне в некоторых регионах [11].

Список литературы

1. <http://www.responsemagazine.com/drama/comparing-ftc-treatment-small-businesses-vs-large-corporations-3829> DRMA Comparing FTC Treatment of Small Businesses vs. Large Corporations 4 Oct, 2011By: Cathy Polissoto, Jeffrey Richter
2. http://en.wikipedia.org/wiki/United_States_House_Committee_on_Small_Business
3. <http://www.ftc.gov/opp/global/berends.shtm>
4. <http://www.census.gov/econ/smallbus.html>
5. http://epress.anu.edu.au/anzsog/critical/mobile_devices/ch08s02.html
6. http://www.leg.bc.ca/38th3rd/1st_read/m218-1.htm
7. Кашин С. Три цены бизнеса // Секрет фирмы. 2004. №12 (51).
8. Сысоева С., Крок Г. Большая книга директора магазина. СПб.: ПИТЕР, 2009.
9. Оценка бизнеса: учебник / под ред. А.Г. Грязновой, М.А. Федотовой. М.: Финансы и статистика, 1999.
10. Кредитование малого бизнеса. URL: http://www.pro-credit.ru/press/analitika/article-item_1940
11. Малый бизнес /под ред. В.Я. Горфинкеля. М.: КНОРУС, 2009.

Bibliografy

1. <http://www.responsemagazine.com/drama/comparing-ftc-treatment-small-businesses-vs-large-corporations-3829> DRMA Comparing FTC Treatment of Small Businesses vs. Large Corporations 4 Oct, 2011By: Cathy Polissoto, Jeffrey Richter
2. http://en.wikipedia.org/wiki/United_States_House_Committee_on_Small_Business
3. <http://www.ftc.gov/opp/global/berends.shtm>
4. <http://www.census.gov/econ/smallbus.html>
5. http://epress.anu.edu.au/anzsog/critical/mobile_devices/ch08s02.html
6. http://www.leg.bc.ca/38th3rd/1st_read/m218-1.htm
7. Sergey Kashin. Three rates of business. Magazine "The secret company" № 12 (51) 03.29.2004.
8. Sysoev, S., G. Croke Director of The Big Book Store - St. Petersburg: St. Petersburg, 2009.
9. Evaluation of business. Textbook / Ed. AG Gryaznova, MA Fedotova. Moscow: Finances and Statistics, 1999.
10. Small business loans. http://www.pro-credit.ru/press/analitika/article-item_1940.
11. Small Business Ed. VJ Gorfinkel. M.: KnoRus, 2009.

УДК 332.12

Бессонова Ю.А., Служина С.А.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКОЙ БАЗЫ МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СТРУКТУР

Интегрированные структуры в современной экономике играют все более заметную роль, становятся важнейшим элементом экономической среды. Эффективность их деятельности во многом определяется уровнем управления, качеством принимаемых управленческих решений. Совершенствование механизмов управления приобретает дополнительную значимость в связи с потребностью в постоянной подстройке внутренней структуры, применяемых алгоритмов реализации производственных и управленческих задач к динамично меняющимся внешним и внутренним условиям деятельности.

Создание действенного механизма формирования и функционирования интегрированных структур является необходимым условием их конкурентоспособности, устойчивости на рынке.

Под «механизмом» понимаются процессы, методы, системы, определяющие порядок какого-нибудь вида деятельности.

Совершенствование какого-либо механизма, как и любой процесс преобразования, основывается, в первую очередь, на анализе существующего или текущего состояния объекта преобразования: его основных составляющих, внешних и внутренних воздействующих факторов и т.д. Совершенствование механизма формирования и функционирования интегрированных структур также требует всестороннего рассмотрения исследуемого объекта, а значит, в первую очередь, анализа основных составляющих, которые наглядно можно представить в следующем виде (рис. 1):

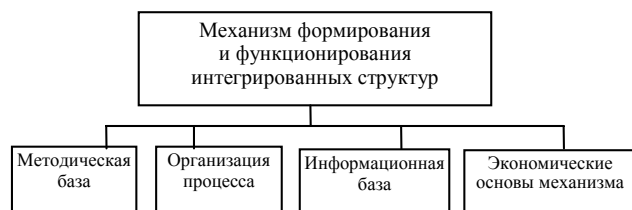


Рис. 1. Основные составляющие механизма формирования и функционирования интегрированных структур

На наш взгляд, наиболее актуальную проблему представляет собой совершенствование **методической базы** рассматриваемого механизма. Предлагается ряд методических разработок, место которых в методической базе обсуждаемого механизма отражено на рис. 2.



Рис. 2. Совершенствуемые элементы методической базы механизма формирования и функционирования интегрированных структур

1. Предлагается периодическое проведение мониторинга участников и партнеров, позволяющего ставить вопрос о выводе звена, ставшего «обузой» для интегрированной структуры, из ее состава, либо о введении в состав новых объектов. В основе **методики мониторинга** [1] лежит анализ ряда экономических показателей деятельности участников/партнеров интегрированной структуры (рис. 3).

По отдельным аспектам деятельности определяются частные рейтинговые оценки объекта и затем на их базе формируется итоговая оценка. Применение этой методики ориентировано на повышение обоснованности реструктуризационных решений и рост эффективности функционирования интегрированной структуры в целом.

2. Вторая предлагаемая методическая разработка – **методика оптимизации производственной мощности однотипных производств** [2] – основана на подходах теории управления запасами. Суммарная производственная мощность предприятий определенного профиля уподобляется страховому запасу. В соответствии с теорией управления запасами [3] страховой запас оптимален, т.е. предполагает сведение к минимуму суммарных затрат на его содержание и обслуживание возникающего дефицита тогда, когда обеспечиваемая им вероятность отсутствия дефицита совпадает с плотностью убытков от дефицита – показателем, отражающим удельный вес убытков, затрат, потерь прибыли, связанных с дефицитом ресурса h в сумме этих убытков и затрат хранения S : $p = h / (S + h)$.

В рассматриваемом случае, когда речь идет о запасах производственных мощностей предприятий определенного профиля в составе интегрированной структуры, величины, участвующие в расчете плотности убытков от дефицита, трактуются следующим образом: S – удельные затраты на создание и содержание производственных мощностей; h – затраты, связанные с дефицитом производственных мощностей, включающие в себя дополнительные затраты по закупке на стороне продукции в случае нехватки собственных мощностей интегрированной структуры. В их составе учитывается как более высокая цена продукции на внешнем рынке, так и дополнительные транспортные расходы.

Для выяснения зависимости вероятности отсутствия дефицита от величины суммарной производственной мощности необходима информация о характере распределения случайной величины производственной потребности в продукте, установление которой осуществляется на основе статистики и с учетом прогнозируемых изменений.

Сформулированное ранее условие оптимальности будет выглядеть следующим образом: $P\{M \leq V\} = h/(S+h)$, где V – суммарная производственная мощность, ед.; $P\{M \leq V\}$ – вероятность отсутствия дефицита мощностей (спрос не превышает мощности).

Поскольку по определению интегральной функции распределения $P\{M \leq V\} = F_M(V)$, то оптимальный объем производственной мощности находится решением уравнения $F_M(V) = h/(S+h)$.

3. Следующим совершенствуемым элементом методической базы является предлагаемый **методический подход к оптимизации использования общих инвестиционных ресурсов интегрированной структуры** [2].

В качестве основного критерия оптимизации целесообразно использовать прирост стоимости бизнеса, оцениваемой по чистой текущей стоимости денежных потоков. Основу инвестиционной политики интегрированной структуры должны составлять Парето – оптимальные решения, отвечающие интересам головной (материнской) компании и каждого участника. Для выработки паритетных решений формируется оптимизационная модель с комплексным аддитивным критерием оптимизации, в состав которого должны войти локальные критерии, вытекающие из интересов отдельных участников с весовыми коэффициентами.

В рассматриваемой ситуации есть объективная основа выбора весовых коэффициентов: в их качестве целесообразно использовать доли управляющей компании в уставном капитале участников интегрированной структуры (в том числе и опосредованные, реализуемые по схеме головная компания – дочернее предприятие – дочернее предприятие II).

В качестве локальных целевых функций, определяющих эффективность инвестиций конкретного планового периода K_i для отдельного i -го участника, предлагается разность прироста дисконтированного чистого дохода от операционной деятельности за выбранный временной горизонт $PV_i(K_i)$ и объема инвестиций

данного периода в развитие производства рассматриваемого участника: $PV_i(K_i) - K_i \longrightarrow \max$.

Характер поведения данной функции от K_i может быть различным для разных объектов. Временной горизонт, за который рассчитывается $PV_i(K_i)$, может быть существенно больше периода, на который планируются инвестиции, и определяться с учетом разумного (с точки зрения общей инвестиционной политики предприятия) срока окупаемости инвестиций.

Для интегрированной структуры в целом целевая функция может выглядеть следующим образом:

$$PV_o(K_o) + \sum_i \alpha_i PV_i(K_i) - (K_o + \sum_i K_i) \longrightarrow \max,$$

где K_o , K_i – объем централизованных инвестиций в головную компанию интегрированной структуры и в развитие i -го участника соответственно;

$PV_o(K_o)$ – прирост чистого дохода (чистого дисконтированного дохода) головной компании интегрированной структуры от операционной деятельности за выбранный временной горизонт при вложениях K_o ;

α_i – доля управляющей компании (в том числе опосредованная) в уставном капитале i -го участника интегрированной структуры.

Ограничения при выборе оптимального решения должны учитывать:

– общую ограниченность финансовых инвестиционных ресурсов интегрированной структуры: $K_o + \sum_i K_i \leq K$, где K – общая сумма средств на

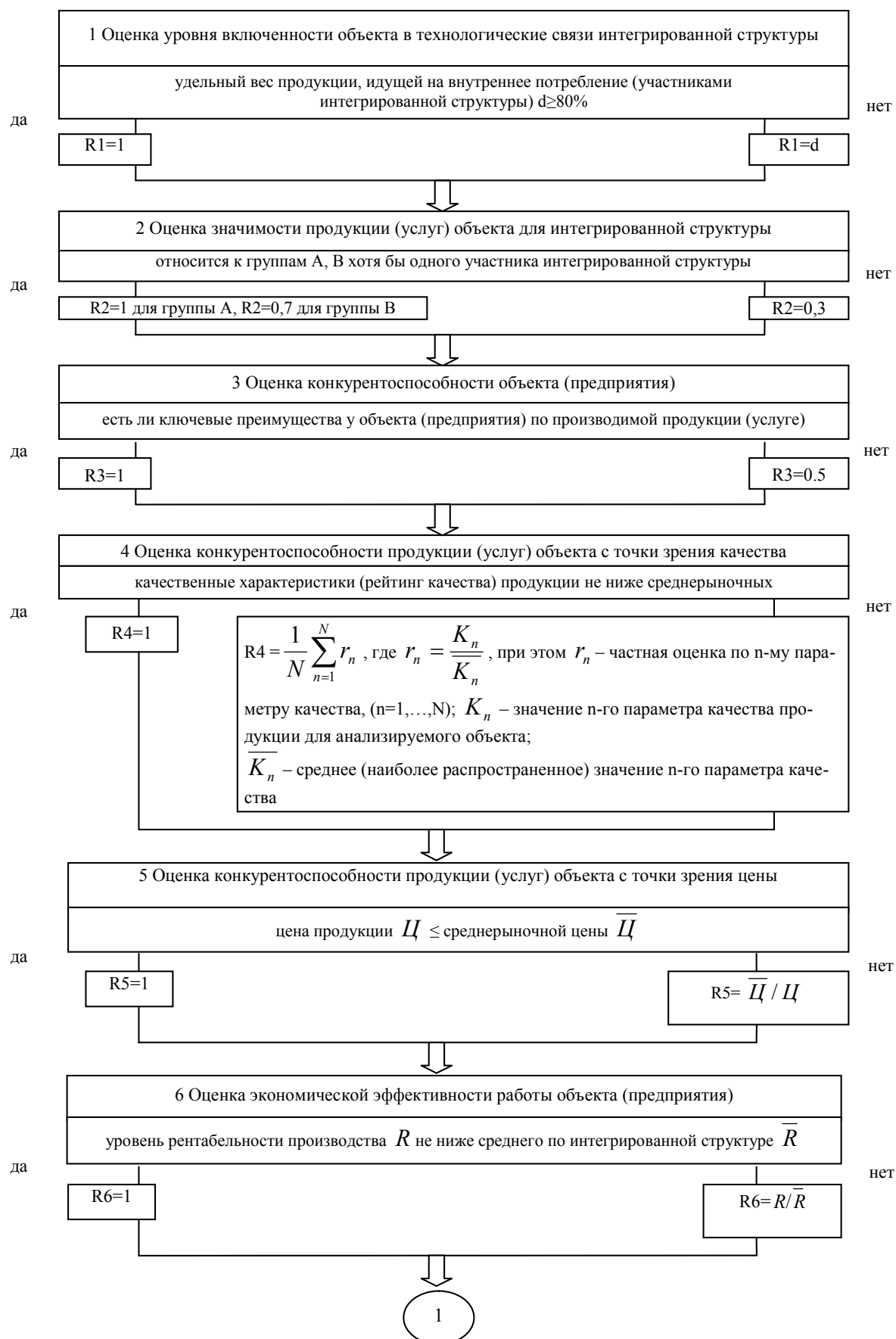
финансирование инвестиционных программ планируемого периода;

– потребность в пропорциональном развитии смежных производств, например в виде $K_i : K_j = \gamma_{ij}$, где γ_{ij} – коэффициент соотношения удельных капиталоемкостей пропорционального наращивания производственных мощностей i -го и j -го смежных производств;

– определенные приоритеты в техническом развитии отдельных производств (так называемых «узких мест» или с устаревшей производственной базой): $K_i \geq K_{i\min}$, где $K_{i\min}$ – минимально допустимый объем инвестиций в развитие i -го участника, являющегося «узким местом»;

– другие ограничения, вытекающие из особенностей конкретной ситуации и задач конкретного периода.

В состав целевой функции в определенных условиях целесообразно введение дополнительного слагаемого, учитывающего синергетический эффект от локальных инвестиций в конкретный объект для интегрированной структуры в целом, выражающийся в повышении качества продукции объекта, потребляемой внутри интегрированной структуры, снижении себестоимости и соответственно внутренней цены этой продукции, росте объемов производства и соответственно экономии на внешних закупках и т.д. Экономический результат реализации данного подхода выражается в повышении эффективности осуществляемых инвестиций.



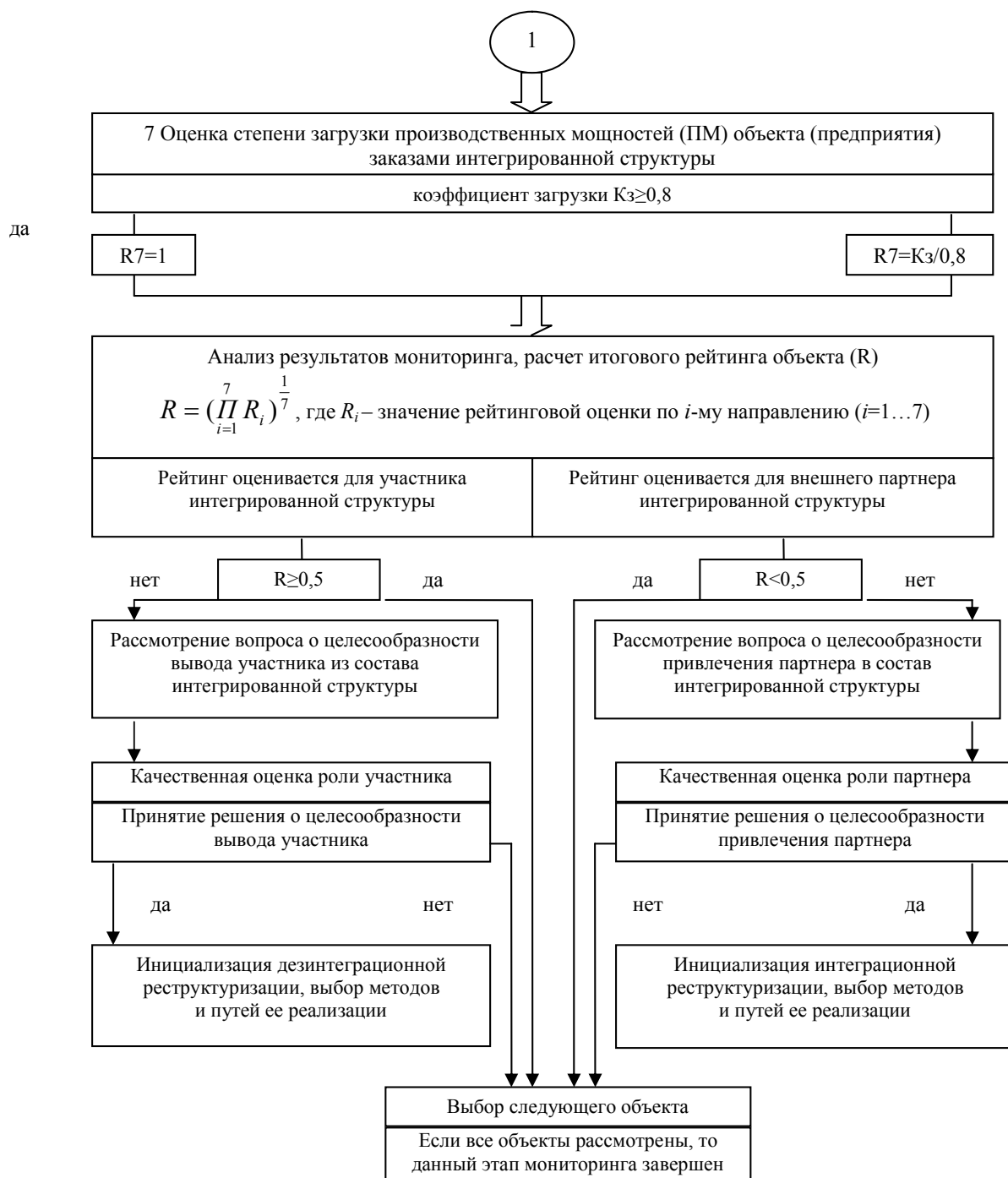


Рис. 3. Алгоритм мониторинга участников/партнеров интегрированных структур

Список литературы

1. Бессонова Ю.А., Кельчевская Н.Р., Слуккина С.А. Совершенствование организационно-экономического механизма формирования и функционирования интегрированных структур в металлургии // Вестник Уральского государственного технического университета – УПИ. Сер. Экономика и управление. 2007. № 4(87).
2. Бессонова Ю.А. Функционирование интегрированных структур: оптимизация производственных мощностей // Вестник ИНЖЭКОНа. Сер. Экономика. 2008. № 5. С. 284–287.
3. Гермейер Ю.Б. Игры с не противоположными интересами. М.: Наука, 1976. 151 с.

Bibliography

1. Bessonova J.A., Kelchevskaya N.R., Slukina S.A. Improvement of organizational and economic mechanism of formation and operation of integrated structures in metallurgy // Bulletin of Ural state technical university – UPI. Series "Economics and management". – 2007. – 4(87).
2. Bessonova J.A. Operation of integrated structures: optimization of production capacities // Science journal "Bulletin of INZHEKON". Series "Economics". – 2008. № 5 – pp. 284–287.
3. Germeier Y.B. Games with non conflicting interests. M.: "Science", 1976. – 151 p.

УДК 336.76

Решетникова Т.В., Тульский Ю.М.

ВОЛАТИЛЬНОСТЬ РЫНКА ЦЕННЫХ БУМАГ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ IPO

Эффективность проведения IPO зависит от многих факторов, наиболее значимыми из которых являются положение компании-эмитента на товарном и финансовом рынках, оценка выпускаемых ею ценных бумаг с точки зрения инвесторов, эффективное построение взаимоотношений с профессиональным участником – андеррайтером, состояние рынка ценных бумаг, степень его волатильности и др. Представляется целесообразным обратиться к сущности дефиниции «волатильность рынка ценных бумаг», поскольку для российского фондового рынка, как известно, характерна высокая степень изменчивости рынка, которую приходится учитывать любым его участникам, в том числе и эмитентам.

Понятие «волатильность» в различных литературных источниках трактуется по-разному. В **таблице**, составленной авторами, представлены различные точки зрения на определение данной дефиниции.

Эволюция понятия «волатильности» в современных экономических исследованиях

Источник	Определение понятия
Райзберг Б.А., Лозовский Л.Ш., Стародубцева Е.Б. Современный экономический словарь – М.: ИНФРА-М, 2002. – 480 с.	Волатильность курса – непостоянство, изменчивость курса на бирже за конкретный период времени
Алехин Б.И. Ликвидность и микроструктура рынка ценных бумаг // Рынок ценных бумаг. 2001. № 20 С. 20–30	Волатильность – характеристика рынка, представляющая собой частоту и амплитуду колебаний цен и испытывающая на себе влияние институциональной структуры рынка и торгового механизма
Окулов В.Л., Рыбин А.В. Волатильность процентных ставок на российском рынке капиталов // Рынок ценных бумаг. 2005. №18. С. 64–66	Волатильность – изменчивость, общее качественное обозначение неопределенности будущих значений какой-либо случайной величины
Раннев Д.В., Шилов Б.Н. Форекс-трейдинг: практические аспекты торговли на мировых валютных рынках. М.: СмартБук, 2009. – 241 с.	Волатильность – количественное изменение цены в течение определенного периода времени
Вайн С. Опционы: полный курс для профессионалов. М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. 466 с.	Волатильность – колебания рынка от закрытия к закрытию
Сигел Дж. Долгосрочные инвестиции в акции. Стратегии с высоким доходом и надежностью. СПб.: Питер, 2010. 416 с.	Волатильность рынка – колебания рынка
Свободный словарь терминов, понятий и определений по экономике, финансам и бизнесу (http://www.termin.bposd.ru)	Волатильность – неустойчивость конъюнктуры рынка
Герман А.А. Торговля опционами // www.forexarena.ru	Волатильность – диапазон изменения цены

Сущностный анализ различных точек зрения на данное понятие позволяет сделать вывод, что волатильность рынка – это изменчивость, неустойчивость конъюнктуры рынка, его ценовые колебания, а также диапазон таких колебаний.

Цена на рынке акций зависит прежде всего от совокупности капиталов, инвестируемых в ценные бумаги (спрос), и от объема предлагаемых для продажи ценных бумаг (предложение), т.е. их соотношение определяет конъюнктуру фондового рынка.

В стадии высокой конъюнктуры наблюдается прирост денежной массы, направленной в фондовый сектор финансового рынка, что требует повышения курсов для уравнивания цены. Внешний спрос позволяет фондовому рынку функционировать устойчиво, и курсы легко двигаются вверх.

В стадии низкой конъюнктуры, когда объем ценных бумаг, предназначенных для продажи, превышает платежеспособный спрос и наблюдается отток капитала из секторов фондового рынка, держатели ценных бумаг могут их реализовать только при значительных потерях в цене. В результате курсы понижаются, такой рынок называется «тяжелым» [1].

Часто устойчивые направленные движения (восходящий и нисходящий тренды), соответствующие высокой и низкой рыночной конъюнктуре, сменяются дрейфом цены в горизонтальном направлении. Торговля переходит в менее широкий диапазон с определенными границами, между которыми цена как бы заперта, т.е. в так называемый боковик, во время которого волатильность на рынке снижается [2].

По мнению исследователей, большинство периодов существования фондового рынка, характеризующихся высокой волатильностью, наблюдаются во время падения рынка. Волатильность возрастает во время рецессии по двум причинам. Во-первых, спады менее часты и влекут за собой большую экономическую неопределенность, нежели подъемы. Во-вторых, если прибыль резко падает, бремя постоянных издержек становится тяжелее, а волатильность прибыли – выше. Это ведет к волатильности стоимости акционерного капитала компаний [3].

Высокая волатильность рынка акций может привести к тому, что IPO, осуществляемое компанией-эмитентом, не будет успешным. Успешное размещение – то, в ходе которого своих целей достигают все три основные стороны сделки: компания, продавцы и инвесторы. Акцентируем внимание на некоторых показателях такого успеха:

- разумный размер премии первого дня;
- широта размещения;
- наличие стабильных держателей акций;

- минимальный обратный приток акции;
- сильное повышение акций на вторичном рынке;
- объем торгов, доверие со стороны рынка и инвесторов.

Разумный размер премии первого дня: премия открытия приблизительно в размере 10–15% от цены предложения обычно является приемлемой и для продавцов, и для инвесторов. Продавцы не любят осознавать, что они потеряли слишком много денег в один момент, а инвесторы испытывают удовлетворение от того, что показали начальную прибыль на свои инвестиции, хоть и небольшую. Если продавец и инвестор удовлетворены ценой, то похожее чувство будут испытывать и профессиональные участники-андеррайтеры.

Широта размещения: после завершения IPO, особенно крупных, важную роль приобретает распределение акций между инвесторами. Компании стремятся к равновесию между институциональными и мелкими инвесторами (обычно 70% у институциональных инвесторов и 30% у мелких). Также определенная доля акций должна быть выделена для иностранных инвесторов. Если компания стремится получить листинг на еще одной фондовой бирже, она должна разместить достаточное число акций на внешнем рынке таким образом, чтобы эти акции имели приличную ликвидность на этой бирже.

Наличие стабильных держателей акций: компания хочет видеть большую часть акций распределенной среди долгосрочных, благосклонно настроенных инвесторов, акционеров, которые держат и наращивают свои пакеты акций до тех пор, пока компания соответствует тому, что обещает. Эмитенты также понимают, что необходимо разместить часть акций и среди краткосрочных инвесторов (спекулянтов), которые немедленно начнут их продавать на вторичном рынке, обеспечивая таким образом ликвидность.

Минимальный обратный приток акций: осуществляя международные размещения, эмитент хочет быть уверен, что ценные бумаги, размещенные среди иностранных акционеров, будут обращаться именно там и не вернутся назад, на внутренний рынок.

Сильное повышение акций на вторичном рынке: компании занимаются бизнесом, чтобы наращивать стоимость компании для своих акционеров, и для эмитента нежелательно, чтобы его первые сторонние акционеры потеряли свои деньги. Таким образом, хотя высокая начальная цена размещения весьма желательна, еще более желательно, чтобы эта цена поднималась и дальше на вторичном рынке. Это справедливо и для владельцев компании, продающих акции, многие из них не спешат избавляться от всех своих активов в момент IPO.

Объем торгов, доверие со стороны рынка и инвесторов: первичные публичные предложения, в результате которых акции размещаются достаточно широко, обычно бывают более успешными. Если инвесторы не знакомы друг с другом и не делятся между собой информацией, они не знают, является ли спрос на эмиссию достаточно высоким. В этом случае они должны составить собственное мнение относительно достоинств компании.

Больше возможностей провести успешные IPO будут у компаний, если они:

- крупные, а не мелкие;
- приносящие доход, а не убыточные;
- с продажей акций самой компанией, а не продажей акций существующими акционерами (инвесторы чрезвычайно подозрительны к IPO, в ходе которых целиком продаются акции акционеров-учредителей. В таких случаях ведущий инвестиционный банк обычно вынуждает увязать эту продажу с продажей новых акций, осуществляемой для привлечения капитала для компании, и не позволяет продавать все акции сразу. Это способствует уравниванию интересов прежних владельцев и новых акционеров компании;

- с меньшим числом факторов риска, отраженных в проспекте ценных бумаг;

- с большей долей инсайдерской собственности (принадлежащей менеджерам и директорам [4].

Еще одним фактором, влияющим на успешность проведения IPO, является время его проведения. Рынок должен быть готов принять новую эмиссию акций. Компании не стоит размещать свои акции, если параллельно с ее IPO запланировано еще несколько эмиссий на той же торговой площадке: ресурсы инвесторов будут распылены между несколькими эмитентами, и в результате компания не получит максимальной оценки стоимости своих акций. Кроме того, на каждой бирже существуют периоды, неблагоприятные для размещения (Рождество в США и Европе или отпускной период в августе) и благоприятные: лучшее время для выхода на международные рынки – весна (апрель–май, когда появляется годовая отчетность компаний) и осень (выход квартальной отчетности в сентябре–октябре). Следует учитывать и то, когда компании потребуются ожидаемые средства: проведение IPO – довольно длительный процесс, а конъюнктура рынка ценных бумаг постоянно меняется. Рынок IPO всегда либо перегрет, либо переохлажден. На развитых рынках широко распространен «эффект IPO», когда цены на акции компании-эмитента растут после проведения IPO (это объясняется тем, что акции предлагаются инвесторам с определенным дисконтом). На российском рынке в 2004–2005 гг. наблюдалось явление, получившее название «окно IPO»: с появлением каждого нового сектора существовал определенный период времени, в течение которого рынок был склонен переоценивать бумаги компаний, работающих в этой отрасли [5].

Проанализируем несколько состоявшихся размещений российских компаний. Например, так называемые «народные IPO». Народное IPO – это когда широкий круг инвесторов (почти любой гражданин России) мог свободно купить (подписать) акции ведущих российских государственных компаний и банков (Роснефть, ВТБ и Сбербанк), «рекламу» которых осуществляли в том числе и президент с правительством [6].

ОАО «Нефтяная компания "Роснефть"» – одно из крупнейших предприятий топливно-энергетического комплекса России. По уровню нефтедобычи и объему доказанных запасов нефти она входит в число крупнейших нефтяных компаний мира. До проведения IPO 100% акций Роснефти принадлежало государственному ОАО «Роснефтегаз». В июле 2006 года

состоялось первичное размещение акций (IPO) Роснефти. Федеральная служба по финансовым рынкам России разрешила размещение и обращение за пределами страны 22,5% акций Роснефти. Роснефть объявила коридор размещения в 5,85–7,85 долл. за 1 акцию и GDR, исходя из капитализации компании после консолидации в 60–80 млрд долл. Планировалось разместить акций минимум на 8,5 млрд долл. – столько нужно Роснефтегазу, чтобы вернуть кредит западным банкам, погасить проценты по нему и заплатить налоги. «Роснефтегаз» продал часть принадлежащих ему акций широкому кругу инвесторов на Лондонской фондовой бирже (LSE), на РТС и ММВБ. Также часть акций распространялась среди населения России через отделения Сбербанка, Газпромбанка и др. 14 июля 2006 года были оглашены официальные результаты размещения. Компания продала акции по 7,55 долл. (или 203,2 руб.) за штуку – почти по верхней границе ценового коридора, что соответствует капитализации компании (с учетом предстоящей консолидации дочерних компаний) в 79,8 млрд долл. (по этому показателю Роснефть стала крупнейшей нефтяной компанией России, обогнав Лукойл). Инвесторы купили 1,38 млрд акций на 10,4 млрд долл. Стратегические инвесторы обеспечили 21% спроса, международные инвесторы из США, Европы и Азии – 36%, российские инвесторы – 39%, российские розничные инвесторы – 4%. 49,4% от всего объема IPO пришлось на четырех инвесторов, в числе которых британская «BP» (1 млрд долл.), малайзийская «Petronas» (1,5 млрд долл.) и китайская «CNPC» (0,5 млрд долл.). От физических лиц было подано заявок на покупку 99431775 акций нефтяной компании, и в итоге большую часть новых акционеров составили физические лица. IPO Роснефти стало крупнейшим в истории в России и пятым в мире по объему собранных денег. Результат этого IPO неутешителен. Более чем через 4 года после размещения акции нефтяной компании №1 торгуются едва выше цены размещения, а именно в районе 220 руб. за акцию. Рост около 3% за четыре года.

ОАО «Банк ВТБ» – российский коммерческий банк, второй по величине активов и по размеру уставного капитала (после Сбербанка). В списке 1000 крупнейших банков мира по капиталу за 2008 год британского журнала «The Banker» ВТБ занял 70-е место. В ходе проведенного в мае 2007 года первичного публичного размещения акций банка среди российских и международных инвесторов было размещено 22,5% акций ВТБ. После обработки всех заявок цена за одну акцию банка, размещаемую через IPO, была установлена в размере 13,6 коп. за штуку. Общий объем средств, привлеченных в рамках первичного размещения акций, составил около 8 млрд долл. США, что сделало размещение акций ВТБ в 2007 году вторым по величине в мире и крупнейшим банковским IPO в Европе. Кроме того, минимальная сумма покупки акций была установлена в 30000 руб., что сделало это размещение более доступным широким слоям населения России. В результате оно стало самым «народным IPO» в России за всю историю национального фондового рынка, по его итогам акционерами ВТБ стали более 120 тысяч граждан России.

В конце июля 2007 года цена акций ВТБ впервые опустилась ниже цены размещения, в последующем так и не поднялась выше этой отметки. Несмотря на регулярные уверения аналитиков о недооцененности этой ценной бумаги, под воздействием мирового финансового кризиса в октябре 2008 года курс акций опустился ниже 3 коп. 22 января 2009 года стоимость одной акции на ММВБ составила 2,33 коп. К 21 октября 2010 года курс акций ВТБ поднялся до 9,72 копеек за акцию. 26 мая 2010 года Наблюдательный совет ВТБ одобрил стратегию развития банка до конца 2013 года, одним из результатов реализации которой должен стать рост курса акций ВТБ до 15 коп. за акцию [7].

Сбербанк России – один из крупнейших банков России и Восточной Европы. Полное наименование – Открытое акционерное общество «Сбербанк России». Сбербанк России – универсальный банк, предоставляющий широкий спектр банковских услуг. Доля Сбербанка России на рынке частных вкладов на 1 июня 2009 года составляла 50,5%, а его кредитный портфель соответствовал более 30% всех выданных в стране займов. Бренд Сбербанка на начало 2010 года по оценке журнала «The Banker» и компании «Brand Finance» занимает 15 место в рейтинге самых дорогих банковских брендов и стоит приблизительно 11,7 млрд долл. Размещение Сбербанка прошло с 22 февраля по 24 марта 2007 года. В результате банк привлек 230,24 млрд руб. (порядка 8,8 млрд долл.). Всего было размещено 2 млн 586 тыс. 948 акций. Но массово народным оно не стало. Виной всему неподъемная для рядового инвестора цена размещения акции в 89 тыс. руб. (потом произошло дробление акций в пропорции 1:1000). До середины 2007 года цена выросла до около 110 тыс. руб., однако с конца года начала падать, достигнув минимума в районе 11 руб. за акцию (после дробления) в феврале 2009 года и продолжала оставаться ниже цены размещения еще более 1,5 лет. К 22 октября цена акции достигла 103 руб. – доходность за более чем 3,5 года с момента размещения составляет только около 16%.

По мнению экспертов, причины неудач народных размещений – это проблемы собственно эмитентов этих акций, а также негативная конъюнктура мировых финансовых рынков. Финансовый кризис затронул практически все отрасли экономики, особенно банковский сектор, из-за чего происходила глобальная переоценка банков по всему миру, что не могло не сказаться на котировках ВТБ и Сбербанка.

Из-за кризиса объем IPO в мире упал в первом квартале 2008 года до 10-летнего минимума. Низкая активность инвесторов и падение индексов заставили сотни компаний отложить выход на биржу. Так, о планах проведения IPO в 2008 году заявляли порядка 80 российских компаний, однако размещения провели всего несколько. А с середины 2008 года рынка размещения практически не существовало.

2009 год характеризовался минимальными за последние 5 лет значениями количественного и стоимостного объема российского рынка публичных размещений акций через биржевые площадки: 12 размещений на сумму около 1,3 млрд долл. Это, в свою очередь, меньше значений 2008 года в два раза по стоимости и на четверть по количеству. Таким образом, произошло возвращение к ориентирам

2004–2005 гг., когда российский рынок публичных размещений только зарождался.

Начиная со второй половины 2009 года с появлением признаков возможного оздоровления мировой экономики возросла активность на ведущих мировых площадках. В конце года на американских биржах количество поданных на первичное размещение заявок, по данным агентства «Bloomberg», достигло годового максимума. В I квартале 2010 года активность мирового рынка IPO заметно выросла относительно аналогичного периода 2009 года. За этот период в мире было заключено 267 сделок IPO общей стоимостью 53,2 млрд долл., тогда как в I квартале 2009 года в результате 52 сделок было привлечено 1,4 млрд долл., что было рекордно низким уровнем активности за последнее десятилетие.

Вслед за мировым рынком IPO появляются и первые признаки оживления российского рынка размещений. С начала 2010 года размещение акций провели несколько российских компании, среди которых IPO крупнейшего в мире производителя алюминия — UC Rusal (в ходе размещения 10,6% акций которого на Гонконгской фондовой бирже было привлечено до 2,24 млрд долл.). Еще несколько отечественных эмитентов находятся непосредственно в процессе осуществления IPO.

Компания «Ernst & Young» прогнозирует сохранение высокой активности на мировом рынке IPO в 2010–2011 гг. Однако, по мнению экспертов, дальнейшее восстановление и рост количества и объемов IPO мировых компаний напрямую будет зависеть от состояния рынка капитала, который пока не восстановился, а для этого необходимо возвращение объемов кредитования к докризисным уровням и наличие у крупных частных инвесторов свободной ликвидности. Что касается российских эмитентов, то они начнут возвращаться на рынок IPO среди последних, в том числе и потому, что у местных инвесторов пока недостаточно средств для подобных вложений.

Если рассмотреть некоторые российские IPO, проведенные в 2010 году, то можно увидеть, что акции Русала в первый день торгов на Гонконгской фондовой бирже упали на 10,6%: до 9,66 гонконгского доллара при цене листинга в 10 долларов 80 центов (1 гонконгский доллар равен 0,12862 долл.). С учетом того, что общая капитализация Русала при размещении составила 21 млрд долл., в первый день торгов компания подешевела на 2,23 млрд долл. 25 мая — цена акций достигла минимального уровня со времен IPO — 6,95 гонконгских долл., что более чем на треть меньше цены размещения. К середине осени цена поднялась до 9,7 гонконгских долл. за акцию, что «лишь» на 11% меньше цены размещения.

Целесообразно привести в качестве примера компании «Протек» (одна из крупнейших в России фармацевтических компаний) и «Русское море» (крупный российский импортёр и переработчик рыбы, морепродуктов). Обе компании разместили акции на российских площадках в конце апреля этого года, получив от инвесторов суммарно около полумиллиарда долларов. Доходность этих IPO на сегодняшний день: «Протек» — минус 45%, «Русское море» — минус 55%

в рублевом эквиваленте. Индекс РТС за этот же период — минус 8%, иными словами, за полгода инвесторы потеряли около половины вложенных средств. Хотя размещения этих компаний (в отличие от Русала) проводились у нижней границы диапазона цен. В своих первых отчетах в статусе публичных компаний «Протек» и «Русское море» были вынуждены поставить в известность инвесторов о наличии операционных проблем, которые снизили их прибыли чуть ли не в половину по сравнению с прогнозами времен IPO. У «Протека» упала прибыль в результате введения новых законов об обороте лекарств, а у «Русского моря» обнаружился недостаток форели и мороженого лосося, возникший из-за того, что норвежские производители сфокусировались на производстве только охлажденного лосося, что можно считать следствием недостаточной компетенции менеджеров.

Анализ сложившихся тенденций показывает, что некоторые компании-эмитенты стремятся получить ресурсы с финансового рынка, при этом не заботясь о своей долгосрочной репутации [8], что, по нашему мнению, оказывает определенное негативное влияние на уровень волатильности фондового рынка. Вместе с тем, признавая влияние волатильности рынка ценных бумаг на успешность/неуспешность IPO, подчеркнем, что общее состояние мировой и отечественной экономики является основным условием эффективного функционирования рынка публичных размещений акций.

Список литературы

1. Галанов В.А. Рынок ценных бумаг. М.: Финансы и статистика, 2004. С. 396.
2. Твардовский В.В., Паршиков С.В. Секреты биржевой торговли: Торговля акциями на фондовых биржах. М.: Альпина Бизнес Букс, 2004. С. 214.
3. Сигел Дж. Долгосрочные инвестиции в акции. Стратегии с высоким доходом и надежностью. СПб.: Питер, 2010. С. 312.
4. Геддес Р. IPO и последующие размещения акций. М.: ЗАО «Олимп-бизнес», 2008. С. 42.
5. Лукашов А.В., Могин А.Е. IPO от I до O: пособие для финансовых директоров и инвестиционных аналитиков. М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. С. 64.
6. Булатов А.А. Народные IPO — народная нелюбовь//Фондовый рынок/Главная; Официальный сайт портала Финансовая правда. URL: <http://www.finpravda.ru>.
7. ВТБ планирует вдвое увеличить стоимость акций к 2013 г./25.06.2010//Бизнес/Новости; Официальный сайт интернет-издания «Газета.RU». URL: <http://www.gazeta.ru>.
8. Дашевский С. Осторожно — российские IPO!//Аналитика/Финансы; Официальный сайт газеты «Ведомости». URL: <http://www.vedomosti.ru>.

Bibliography

1. Galanov V.A. Security market. - M.: Finance and Statistics, 2004. P. 396.
2. Tvardovsky V.V., Parshikov S.V. Exchange trade secrets: securities trade on stock market. - M. Alpina Business Books, 2004. P. 214.
3. Sigel J. Long-term share investments. High income and reliability strategies. - Spb: Piter, 2010. P. 312.
4. Geddes R. IPOs and equity offerings - M.: «Olimp-business», 2008. P. 42.
5. Lukashov A.V., Mogin A.Y. IPO from I to O: guide for financial directors and investment analysts. - M: Alpina Business Books, 2007. P. 64.
6. Bulatov A.A. People's IPO - people's dislike// Securities market/Main; Official site of Internet portal of Finansovaya pravda - <http://www.finpravda.ru>.
7. VTB plans to double stock value by 2013/25.06.2010//Business//News; Official site of Internet edition "Gazeta.RU." - <http://www.gazeta.ru>.
8. Dashevsky S. Caution - People's IPO!//Analytics//Finance; Official site "Vedomosti" - <http://www.vedomosti.ru>.

УДК 519

Королькова Л.И.

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОЧНОЙ ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ РЕМОНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Введение

Формы организации ремонтного производства отличаются большим разнообразием. Как указывается в [1], наиболее совершенной формой является поточная. И если раньше ее применяли, в основном, на ремонтных заводах, то сейчас используют для организации разборочного, восстановительного и сборочного производств, процессов приработки сопряжений и окрашивания деталей.

Рассмотрим функционирование поточной линии как часть поточно-узловой, переменнo-поточной, прерывно-поточной и непрерывно-поточной форм организации ремонта сельскохозяйственной техники. Если согласно технологическому процессу ремонта или обслуживания объекты проходят последовательно через несколько рабочих мест, то общий процесс обслуживания будет моделироваться многофазной системой, где каждая фаза является аналогией рабочего места.

В ремонтном производстве результаты теории массового обслуживания использовались мало. Необходимо отметить работу [2], в которой исследовалась многофазная модель поточной разборочно-сборочной линии конкретного предприятия по ремонту кареток балансирной подвески. В частности, было установлено, что распределение оперативного времени разборочно-сборочных операций подчинено гамма-распределению.

Для исследования поточной линии (системы) предлагается метод условных вероятностей (МУВ), разработанный для изучения случайных процессов, непрерывных во времени и дискретных по состояниям.

1. Описание метода

В настоящей работе с использованием МУВ исследуются характеристики следующей системы обслуживания:

– многофазная система состоит из не отказывающих последовательно расположенных рабочих мест без промежуточных накопителей между ними;

– заявки поступают на первое рабочее место непрерывно;

– время T_i обслуживания заявки i -м рабочим местом случайно и характеризуется функцией распределения произвольного вида $F(t)$;

– система функционирует в течение некоторого, отведенного, времени T_0 , которое может быть как детерминированным, так и случайным с функцией распределения $F_0(t)$.

Метод условных вероятностей состоит из двух этапов. Первым этапом является схематизация общего процесса функционирования системы. Схема включает в себя состояния и переходы между ними. Каждому состоянию присваивается номер. Состояния представляются составом длительностей одновременно протекающих процессов обслуживания. Если процесс ограничен отведенным временем, то оно будет представлять состояние как любая другая длительность с той лишь разницей, что с его окончанием все остальные частные процессы приостанавливаются с остаточными длительностями. Так, для исследуемой системы (рис. 1) исходное, нулевое, состояние определяется двумя процессами: обслуживанием первого объекта на первом рабочем месте и течением отведенного времени, что соответственно на рисунке обозначено 1_1 и O ; буква T опущена.

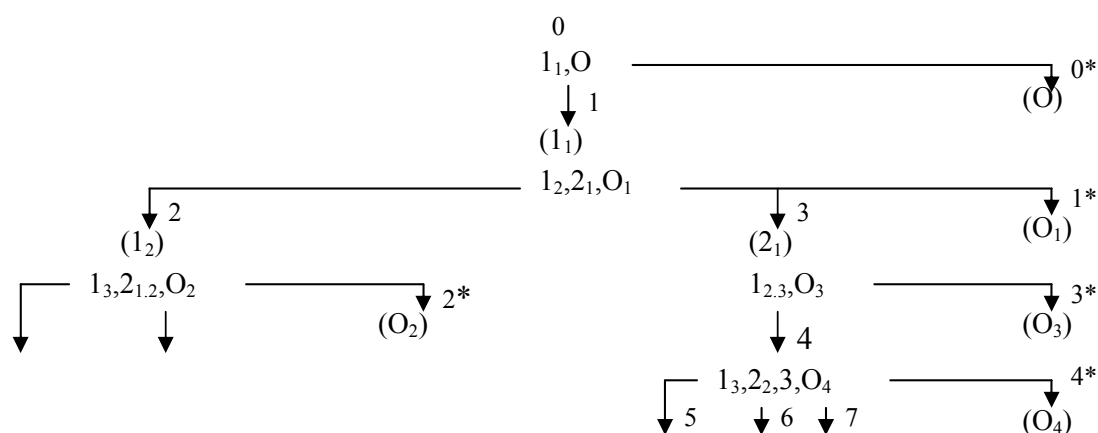


Рис. 1. Начало схемы процесса функционирования в отведенном времени многофазной системы с непрерывной загрузкой

Состояние прекращается с истечением одной и только одной длительности, что является основным принципом схематизации. При этом общий процесс переходит в другое состояние, что на схеме обозначается стрелкой. У стрелки в скобках записывается обозначение длительности, окончание которой в предыдущем смежном состоянии обусловило рассматриваемое состояние. Принципиальным отличием от схем, представленных, например, в [3], является *односторонность* переходов, что позволяет исследовать показатели системы за интересующий промежуток времени.

Состояние 1 характеризуется обслуживанием первого объекта на рабочем месте 2 (обозначено 1_2) и обслуживанием второго объекта на первом рабочем месте (обозначено 2_1) в течение остаточного отведенного времени $T_{0,1}$. Окончание любого обслуживания или отведенного времени обуславливает переход системы из состояния 1. Так, если время обслуживания на рабочем месте 2 меньше, чем длительности T_1 и $T_{0,1}$, общий процесс перейдет в состояние 2.

Схема указывает на возникновение в процессе функционирования различных длительностей. Так, возникает длительность, связанная с окончанием отведенного времени до завершения времени обслуживания на первом рабочем месте (стрелка, ведущая из состояния 0 в состояние 0^*). Также существует длительность обслуживания, завершившегося до окончания отведенного времени, на что указывает стрелка, ведущая из состояния 0 в состояние 1.

В исходном состоянии 0 времена обслуживания известны (заданы). В последующих смежных состояниях обслуживания, не закончившиеся на предыдущих рабочих местах, будут характеризоваться остаточными временами обслуживания. Вторым этапом метода является расчет функций распределения остаточных длительностей, времени пребывания системы в состояниях, приведенных на схеме, а также вероятностей переходов. Именно метод, позволяющий находить эти функции, коренным образом упрощает решение задач, связанных с рассматриваемыми процессами.

Алгоритм расчета функции распределения остаточного времени обслуживания изложен, в частности, в [4].

Произвольное состояние k характеризуется длительностью V_{kx} пребывания системы в этом состоянии *при условии* завершения первым каждого по отдельности обслуживания i_k из числа всех обслуживаний, представляющих это состояние; при этом система перейдет в состояние x . Функция распределения продолжительности V_{kx} [5]:

$$S_{kx}(t) = P\{V_{kx} \leq t\} = P\{T_{ik} \leq t | T_{ik} < U_{kx}\} = S_{kx}^+(t) / S_{kx}^+(\infty), \quad (2)$$

$$S_{kx}^+(t) = \int_0^t [1 - G_{kx}(z)] dE_{ik}(z);$$

$$G_{kx}(t) = P\{U_{kx} \leq t\} = P\{\min(T_{jk}) \leq t\} = 1 - \prod_{j \neq i} [1 - E_{jk}(t)].$$

С вычислением $S_{kx}(t)$ одновременно определяется вероятность перехода системы из состояния k в состояние x :

$$s_{kx} = P\{T_{ik} < U_{kx}\} = S_{kx}^+(\infty). \quad (3)$$

2. Численный пример

Для четырехфазной поточной линии исследуются показатели, связанные с блокированием системы. Начало схемы функционирования системы представлено на **рис. 1**, правая и левая ветви – на **рис. 2** и **3** соответственно.

Рассмотрим состояние 3. Оно обусловлено завершением обслуживания второго объекта на первом рабочем месте. Поскольку на втором рабочем месте продолжается обслуживание первого объекта, второй объект блокирует первое рабочее место. Таким образом, вероятность первой блокировки первого рабочего места в течение заданного времени $s_{0,3} = s_{0,1} \cdot s_{1,3}$, ее длительность $s_{3,6}V_{3,6} + s_{3,3^*}V_{3,3^*}$.

Все блокировки, которым соответствуют состояния системы, находящиеся на схеме ниже ветви $0 \rightarrow 3$, будут вторыми по счету блокировками в течение отведенного времени. Переходы, обозначающие условные длительности состояний, в которых рабочие места блокированы, для наглядности выделены более толстыми линиями.

Рассмотрим состояния 6 и 22. Они обусловлены окончанием обслуживания второго объекта на втором рабочем месте. Поскольку на третьем приборе обслуживается объект, то второй объект блокирует второе рабочее место. Однако эта блокировка не оказывает влияния на обслуживание следующего, третьего по счету объекта, который продолжает обслуживаться на первом рабочем месте. Такие блокировки могут учитываться либо не учитываться в зависимости от решаемой задачи. Состояния 10, 12, 24, 26 отражают состояния системы, в которой блокированы одновременно два рабочих места, в частности, первое и второе.

Таким образом, методом условных вероятностей можно вычислить:

– вероятность s_1 того, что какое-либо рабочее место будет блокировано по крайней мере один раз в течение отведенного времени (первая блокировка):

$$s_1 = s_{0,3} + s_{0,22} + s_{0,23} + \dots;$$

– вероятность $s_1^{(2)}$ того, что в системе произойдет блокировка двух рабочих мест одновременно (двойная блокировка): $s_1^{(2)} = s_{0,25} + s_{0,26} + \dots$;

– вероятность s_2 того, что в системе произойдет не менее двух несмежных блокировок рабочих мест: $s_2 = s_{0,6} + s_{0,7} + s_{0,8} + \dots$;

– вероятность $s_2^{(2)}$ того, что вторая по счету блокировка будет двойной: $s_2^{(2)} = s_{0,10} + s_{0,12} + \dots$;

– среднюю длительность $\bar{b}_1$ первой блокировки;

– среднюю длительность $\bar{b}_1^{(2)}$ первой блокировки двух рабочих мест одновременно;

– среднюю длительность $\bar{b}_2$ второй несмежной блокировки;

– среднюю длительность $\bar{b}_2^{(2)}$ второй по счету одновременной блокировки двух рабочих мест.

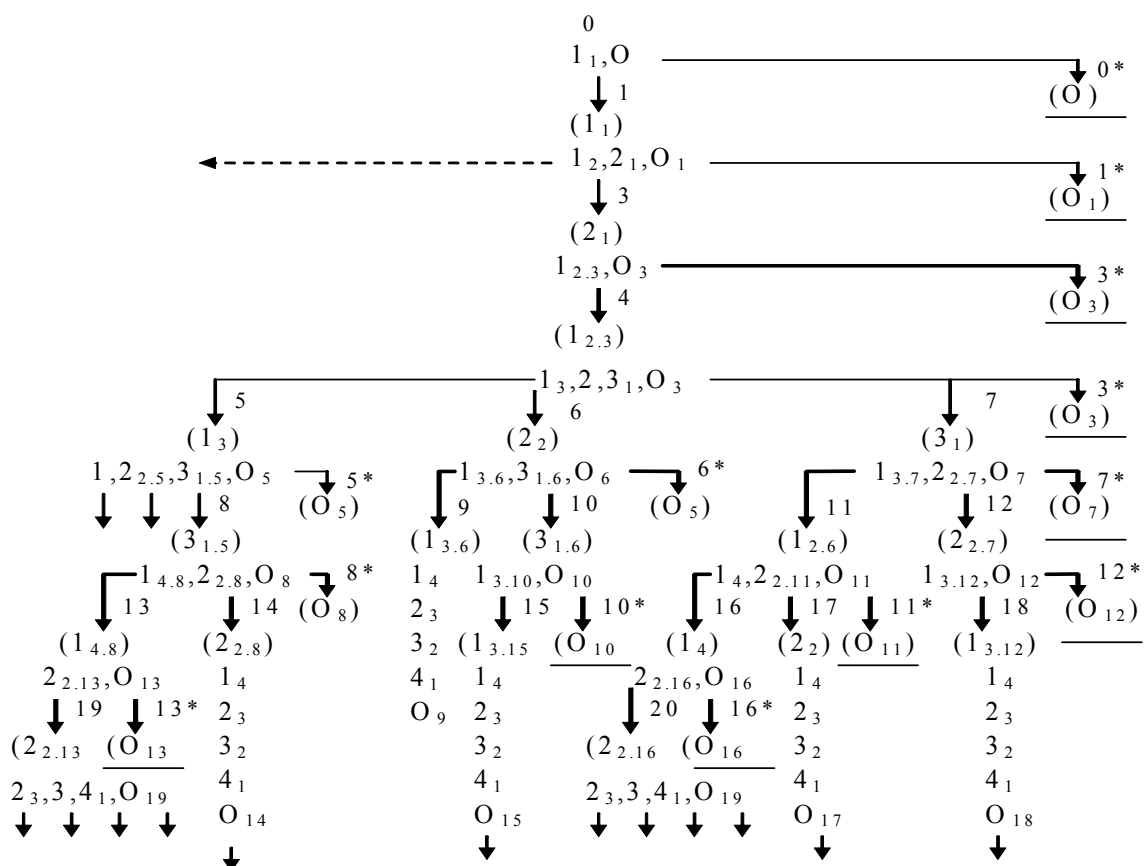


Рис. 2. Схема процесса функционирования в отведенном времени четырехфазной системы с непрерывной загрузкой (правая ветвь)

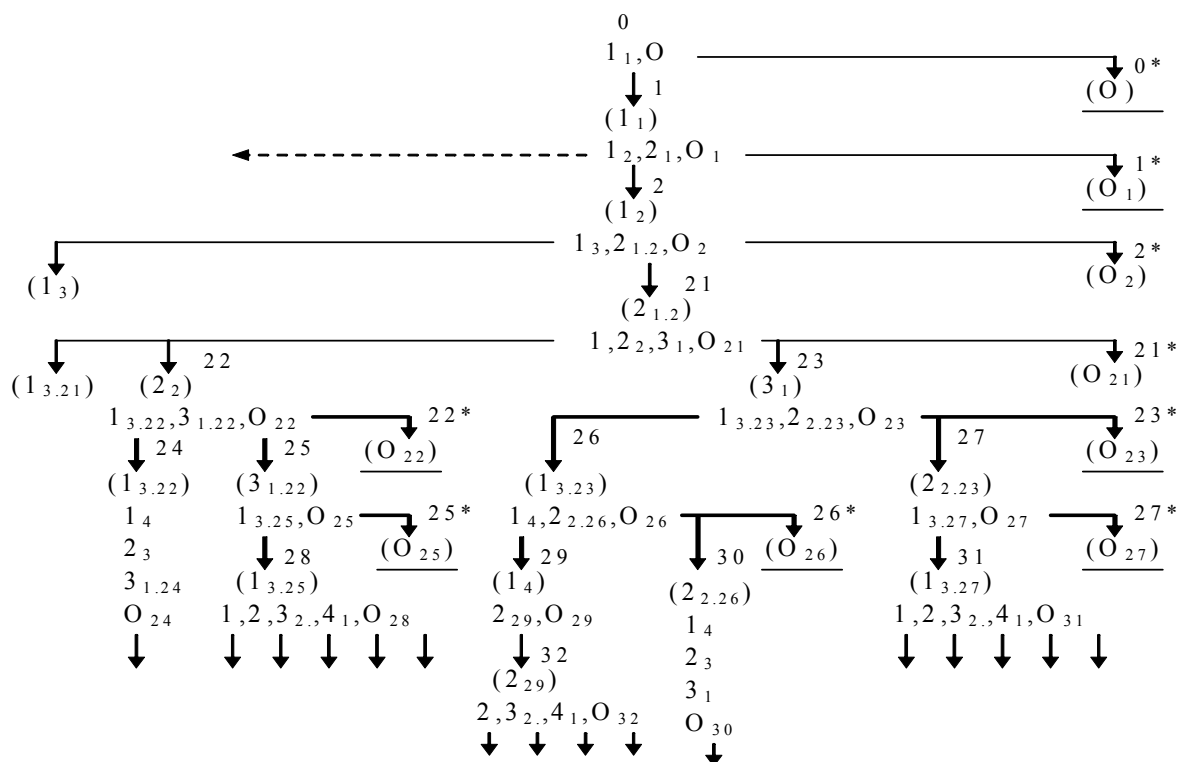


Рис. 3. Схема процесса функционирования в отведенном времени четырехфазной системы с непрерывной загрузкой (левая ветвь)

Метод позволяет не только детально рассмотреть функционирование поточной линии, но и достаточно быстро сделать выводы о работе системы. Так, первая блокировка определяется, в частности, вероятностью $s_{1,3}$ ($s_{0,3} = s_{0,1} \cdot s_{1,3}$), которая вычисляется как $s_{1,3} = P\{T_1 < \min(T_2, T_{0,1})\}$. Поэтому, если система обслуживания допускает перестановку рабочих мест, для уменьшения вероятности блокировки необходимо их располагать в порядке убывания среднего времени обслуживания. Для проверки этого предположения рассмотрим две многофазные системы, состоящие из четырех рабочих мест, время обслуживания на которых подчиняется распределению Вейбулла с функцией распределения $F_i(t) = 1 - \exp(-\lambda_i \cdot t^{\alpha_i})$.

Показатели поточных линий, связанные с блокированием постов

	Система 1			Система 2		
t_0	100	200	300	100	200	300
s_1	0,9218	0,9968	0,9972	0,1059	0,5530	0,5904
$\bar{b}_1$	28,06	34,07	34,36	8,52	14,05	14,47
$s_1^{(2)}$	0,0025	0,0152	0,0154	$7 \cdot 10^{-6}$	0,0082	0,0089
$\bar{b}_1^{(2)}$	8,20	14,18	14,62	4,96	9,32	10,92
s_2	0,2565	0,8848	0,8885	0,0002	0,1472	0,1612
$\bar{b}_2$	16,35	37,10	38,24	5,97	14,57	16,42
$s_2^{(2)}$	0,0258	0,2886	0,2944	$5 \cdot 10^{-6}$	0,0142	0,01589
$\bar{b}_2^{(2)}$	9,26	15,84	16,37	4,87	10,87	10,92

Параметры распределения времени обслуживания в системе 1:

$\lambda_1 = 9,2 \cdot 10^{-4}$, $\alpha_1 = 2$; $\lambda_2 = 9,1 \cdot 10^{-10}$, $\alpha_2 = 5$; $\lambda_3 = 4,4 \cdot 10^{-7}$, $\alpha_3 = 3,66$; $\lambda_4 = 1,2 \cdot 10^{-1}$, $\alpha_4 = 1$. Соответственно средние времена обслуживания: $\bar{t}_1 = 29,33$, $\bar{t}_2 = 58,95$, $\bar{t}_3 = 49,31$, $\bar{t}_4 = 11,90$.

Параметры распределения времени обслуживания в системе 2:

$\lambda_1 = 9,1 \cdot 10^{-10}$, $\alpha_1 = 5$; $\lambda_2 = 4,4 \cdot 10^{-7}$, $\alpha_2 = 3,66$; $\lambda_3 = 9,2 \cdot 10^{-4}$, $\alpha_3 = 2$; $\lambda_4 = 1,2 \cdot 10^{-1}$, $\alpha_4 = 1$.

Из данных таблицы наглядно видно изменение значений характеристик, связанных с блокированием системы, во времени. Причем для системы 1 показатели, связанные с первой блокировкой (s_1 , $\bar{b}_1$, $s_1^{(2)}$), к моменту времени $T_0 = 300$ можно считать установившимися. Система 2 к этому моменту времени еще находится в переходном режиме.

Данные таблицы также свидетельствуют о том, что перестановка рабочих мест существенно влияет на показатели блокирования. Например, вероятность и длительность первой блокировки существенно снижаются, особенно для промежутка $T_0 = 100$. Для $T_0 > 100$ средняя длительность первой блокировки $\bar{b}_1$ для системы 2 снижается более чем в два раза. Если такие изменения существенны для поточной линии, а перестановка рабочих мест невозможна, то необходимо направленное изменение времени обслуживания на приборах путем проведения специальных мероприятий.

Заключение

В статье предложено применение разработанного автором метода условных вероятностей для поточных линий.

С увеличением числа рабочих мест количество состояний системы увеличивается. Это, пожалуй, единственный, на наш взгляд, недостаток метода. Тем не менее, для «важных» систем имеет смысл составление схемы ее функционирования, поскольку схематизация и расчет показателей состояний формализованы. Составив схему один раз, можно исследовать систему, изменяя распределение времени обслуживания на рабочих местах.

Список литературы

1. Восстановление деталей машин: справочник / Ф.И. Пантелеенко, В.П. Лялякин, В.П. Иванов, В.М. Константинов; под ред. В.П. Иванова. М.: Машиностроение, 2003.
2. Головащенко В.Е., Кудринский Б.П., Нищенко И.А. Определение такта поточной разборочно-сборочной линии с жесткой межоперационной связью // Повышение надежности сельскохозяйственной техники: тр. ЛСХА. Вып. 267. Елгава, 1990. С. 54–61.
3. Ушаков И.А. Курс теории надежности систем. М.: Изд-во Дрофа, 2008.
4. Корольков И.В., Королькова Л.И. Безотказность систем с запасными элементами // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2006. № 4.
5. Gupta R., Mumtaz S.Z., Rastogi N. Profit analysis of a system with mutual changeover of units and correlated failures and repairs // J. of Quality in Maintenance Engineering. 1999. V 5. N 2. P. 51–55.

Bibliography

1. Resoration of Machine Components: Reference Book/F.I. Panteleenko, V.P. Lyalyakin, V.P. Ivanov, V.M. Konstantinov; under the editorship of V.P. Ivanova. – M.: Machine building, 2003.
2. Golovashchenko V.E., Kudrinskii B.P., Nishchenko I.A. Definition of the stroke of the conveyor of dismantling-assembly line with hard interoperational link // The safety improving of agricultural machines / Tr.LSKnA, issue 267. Elgava, 1990. P.54-61.
3. Ushakov I.A. Theory course of system safety. M.: Publishing House Drofa, 2008.
4. Korolkov I.V., Korolkova L.I. Reliability of the system with spare elements // Magazine "Problems of machine building and machine reliability".2006. № 4.
5. Gupta R., Mumtaz S.Z., Rastogi N. Profit analysis of a system with mutual changeover of units and correlated failures and repairs // J. of Quality in Maintenance Engineering. 1999. V 5. N 2. P. 51–55.

МАТЕМАТИКА

УДК 517.927.25

Малеко Е.М., Чурсина Н.В.

О ВОЗМУЩЕНИИ ДИСКРЕТНОГО ОПЕРАТОРА
ОПЕРАТОРОМ СДВИГА

Рассмотрим действующий в комплексном сепарабельном гильбертовом пространстве (СГП) H дискретный оператор A , собственные числа $\lambda_m \in \mathbb{C}$ которого простые и занумерованы в порядке возрастания модулей, а соответствующие собственные функции φ_m образуют в H ортонормированный базис, $m \in \mathbb{N} \cup \{0\}$. К тому же пусть для $k \in \mathbb{N}$ в H действует оператор

$$B_{k,\alpha} := A + \alpha P_k,$$

где P_k – оператор сдвига,

$$P_k \varphi_m = \gamma_{k,m} \cdot \varphi_{m+k}$$

или

$$\forall h \in D(P_k) \quad P_k h = \sum_{m=0}^{\infty} h_m \gamma_{k,m} \varphi_{m+k},$$

$$h_m = (h, \varphi_m). \quad (1)$$

Здесь $(\cdot, \cdot)$ – скалярное произведение в H , $\alpha \in \mathbb{C}$, $\gamma_{k,m}$ – положительные числа. В [1] все числа $\gamma_{k,m} = 1$.

Области определения операторов:

$$D(P_k) = \{h \in H : \{\gamma_{k,m} h_m\}_{m=0, \infty} \in \ell_2\},$$

$$D(A) = \{h \in H : \{\lambda_m h_m\}_{m=0, \infty} \in \ell_2\}$$

$$D(B_{k,\alpha}) = D(A) \cap D(P_k).$$

Это следует из изоморфизма пространств $H \in \ell_2$. Справедлива следующая теорема.

Теорема 1. Если для любого $m \in \mathbb{N} \cup \{0\}$, некоторого $\alpha_0(k) > 0$ и любых комплексных α , таких что $0 < |\alpha| < \alpha_0(k)$ выполняются включения

$$\{\lambda_{sk+m} \nu_{s,m}(\alpha)\}_{s=0, \infty} \in \ell_2,$$

$$\{\gamma_{k,sk+m} \nu_{s,m}(\alpha)\}_{s=0, \infty} \in \ell_2, \quad (2)$$

$$\nu_{s,m}(\alpha) = \alpha^s \frac{\prod_{j=0}^{s-1} \gamma_{k,jk+m}}{\prod_{j=1}^s (\lambda_m = \lambda_{jk+m})}, \quad \nu_{0,m}(\alpha) = 1,$$

то справедливы равенства

$$B_{k,\alpha} \psi_m = \lambda_m \psi_m,$$

где

$$\psi_m = \varphi_m + \sum_{s=1}^{\infty} \nu_{s,m}(\alpha) \varphi_{sk+m}. \quad (3)$$

Другими словами, λ_m – собственные числа, ψ_m – собственные функции оператора $B_{k,\alpha}$.

Доказательство. Для $f = D(B_{k,\alpha})$ и $\alpha, \lambda \in \mathbb{C}$ рассмотрим равенство

$$(A + \alpha P_k) f = \lambda f. \quad (4)$$

Отсюда

$$\sum_{m=0}^{\infty} f_m (\lambda_m \varphi_m + \alpha \gamma_{k,m} \varphi_{m+k}) = \lambda \sum_{m=0}^{\infty} f_m \varphi_m, \quad (5)$$

$$f = (f, \varphi_m).$$

Приравнявая формально соответствующие коэффициенты при φ_m в равенстве (5), получим линейную бесконечную систему относительно неизвестных f_j :

$$\begin{cases} f_j (\lambda_j - \lambda) = 0, \\ f_j (\lambda_j - \lambda) + \alpha f_{j-k} \gamma_{k,j-k} = 0, \end{cases} \quad \begin{matrix} j = \overline{1, k}, \\ j > k. \end{matrix} \quad (6)$$

Для $\lambda = \lambda_m$ и $f_m \in \mathbb{C}$ решением системы (6) является совокупность чисел

$$f_t = \begin{cases} f_m, & t = m, \\ \frac{\alpha^s f_m \prod_{j=0}^{s-1} \gamma_{k, jk+m}}{(\lambda_m - \lambda_{k+m}) \cdot \dots \cdot (\lambda_m - \lambda_{sk+m})}, & t = sk + m, \quad s \in N, \\ 0, & t \neq sk + m, \quad s \in N \cup \{0\}. \end{cases} \quad (7)$$

Данный факт проверяется непосредственно подстановкой вместо λ числа λ_m в систему (6). Фиксируя номер m и подставляя в (7) вместо f_m единицу, получим собственные функции ψ_m оператора $B_{k,\alpha}$:

$$\psi_m = \varphi_m + \sum_{s=1}^{\infty} \nu_{s,m}(\alpha) \varphi_{sk+m}.$$

Элементы $t_{i,j}^{k,\alpha}$ матрицы перехода

$T_{k,\alpha} = \{t_{i,j}^{k,\alpha}\}_{i,j=0}^{\infty}$ от набора $\{\varphi_i\}$ к набору $\{\psi_i\}$, очевидно, имеют вид

$$t_{i,j}^{k,\alpha} = \begin{cases} 1, & i = j, \\ \nu_{s,j}(\alpha), & i = sk + j, \quad s \in N, \\ 0, & i \neq sk + j, \quad s \in N \cup \{0\}. \end{cases} \quad (8)$$

Из представления (8) следует, что $T_{k,\alpha}$ – бесконечномерная, нижняя треугольная матрица с единицами

на главной диагонали. Поэтому $\det T_{k,\alpha} = 1$, а с учетом того, что $\{\varphi_i\}$ – ортонормированный базис, можно сделать вывод, что $\{\psi_i\}$ – базис Рисса в H .

Условия (2) являются необходимыми и достаточными для включений $\psi_m \in D(B_{k,\alpha})$, $m \in N \cup \{0\}$. Теорема доказана.

В качестве приложений можно построить ряд операторов, воспользовавшись [2].

Список литературы

1. Малеко Е.М. К вычислению спектра дискретных и направленно возмущенных операторов: монография. Магнитогорск: МаГУ, 2007. 160 с.
2. Бейтмен Г., Эрдейи А. Высшие трансцендентные функции: функции Бесселя, функции параболического цилиндра, ортогональные многочлены. 2-е изд., стереотип. М.: Наука, 1974. – 296 с.: ил.

Bibliography

1. Maleko E.M. To calculation of the spectra of discrete and of directionally perturbed operators: the monography. - Magnitogorsk: MaSU, 2007. - 160 p.
2. Bateman H., Erdelyi A. Higher transcendental functions: functions of Bessel, parabolic cylinder functions, orthogonal polynomials. - Publ. the second. - M.: The science, 1974. - 296 p.

РЕФЕРАТЫ

Разработка полезных ископаемых

УДК 622.272

Калмыков В. Н., Мешеряков Э.Ю., Волков П. В. **Обоснование параметров геотехнологического модуля «Очистные работы» при освоении запасов в приконтурных зонах карьеров.**

Выделена структура горнотехнической системы при освоении месторождения открытым и подземным способом. Разработан модуль открыто-подземных горных работ. Показаны элементарные участки приконтурной зоны карьера. Составлен алгоритм оптимизации элементарного модуля «Очистные работы».

Ил. 5. Библиогр. 4 назв.

Ключевые слова: модуль, приконтурные запасы, элементарные участки, экономическо-математическая модель.

Металлургия черных, цветных и редких металлов

УДК 669.162.266.2/4

Дружков В.Г., Прохоров И.Е. **Выбор режима выпуска чугуна и шлака из горна доменных печей в современных условиях.**

Применение в последние 20 лет стойких леточных и желобных огнеупорных масс, чугуновозных ковшей большой емкости привело к значительному изменению режима выпусков чугуна и шлака. Сформировались два основных направления при выборе режима выпусков — увеличение количества или продолжительности. Показаны преимущества режима выпусков с увеличенной продолжительностью.

Ил. 1. Табл. 3. Библиогр. 6 назв.

Ключевые слова: печь доменная, выпуск чугуна, технология доменной плавки.

Литейное производство

УДК 621.785.72:621.771.07

Вдовин К.Н., Зайцева А.А. **Влияние термической обработки на валковый чугун, модифицированный бором.**

Авторы исследовали влияние бора на микроструктуру и твердость валкового чугуна до и после термообработки.

В настоящее время прокатные валки являются немаловажной частью прокатного оборудования. Прежде всего, валки должны быть конкурентоспособными по своему качеству. Поиски путей повышения стойкости валков продолжаются. Одним из этих путей является модифицирование. В качестве модификатора был выбран бор, поскольку он имеет сродство к углероду и может заменять атомы углерода в цементитной фазе чугуна. В таком случае формула цементита приобретает вид $Fe_3C_{n-1}B_{n-1}$. По средствам замены части атомов углерода бор повышает твердость валкового чугуна. С повышением температуры термообработки твердость модифицированного боров валкового чугуна растет.

Ил. 2. Табл. 2. Библиогр. 5 назв.

Ключевые слова: валки, валковый чугун, термообработка, микроструктура, твердость, микротвердость, модифицирование, цементит.

УДК 621.74

Сушко Т.И., Леднев А.С., Пашнева Т.В., Туришев В.В., Руднева И.Г. **Оптимизация технологического процесса получения отливки «Корпус» методом ЛВМ.**

Исследован процесс формирования отливки «Корпус», получаемой методом ЛВМ с помощью компьютерного моделирования в САМ ЛП LVM Flow.

Ил. 11. Табл. 1.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, трехмерная модель, отливка.

Обработка металлов давлением

УДК 621.771.06:621.892

Платов С.И., Румянцев М.И., Дема Р.Р., Харченко М.В. **Эффективность процесса горячей прокатки с подачей смазочного материала между опорным и рабочим валками на непрерывном широкополосном стане горячей прокатки 2000 ОАО «ММК».**

В данной работе выдвинута классификация всего прокатываемого сортамента по технологическим и реологическим характеристикам. Предложены рекомендации, завязанные на реологии смазочного материала с учетом специфики производства. Построены зависимости, регистрирующие качественные изменения процесса прокатки горячей полосы с присутствием системы технологической смазки (СТС). Проведенные исследования связаны, в первую очередь, с отсутствием в источниках информации, раскрывающей суть этой проблемы.

Ключевые слова: горячая прокатка, смазочный материал, си-

стема подачи технологической смазки

Ил. 3. Табл. 1. Библиогр. 10 назв.

УДК 621.771

Кинзин Д.И., Калугина О.Б. **Оценка влияния показателей формы очага деформации на уширение при сортовой прокатке.**

Проведен анализ параметров формоизменения на основе формулировки принципа наименьшего сопротивления.

Выявлена зависимость получаемой погрешности расчета и формы очага деформации. Для расширения области применения методики расчета формоизменения при сортовой прокатке было предложено ввести поправочный коэффициент.

Для определения поправочного коэффициента была получена зависимость на основе множественного регрессионного анализа экспериментальных данных.

Введение поправочного коэффициента позволило снизить среднюю относительную погрешность расчета коэффициента вытяжки при сортовой прокатке как на гладких валках, так и в калибрах до 2 %, при этом максимальная погрешность не превышает 3%.

Таким образом, более точный учет формы очага деформации позволяет расширить область применения методики определения формоизменения металла практически на весь сортамент простых сортовых профилей.

Ил. 2, Библиогр. 6 назв.

Ключевые слова: сортовая прокатка, моделирование, показатель формы очага деформации, расчет уширения, поправочный коэффициент.

УДК 621.771.06-589.4

Раскатов Е.Ю., Лехов О.С. **Выбор рациональной калибровки валков пилгримовых станов.**

Проведен анализ трех вариантов калибровок валков пилгримовых станов с позиции нагруженности механического оборудования и приводов, уровня и характера распределения напряжений в очаге деформации.

Ил. 6. Табл. 2. Библиогр. 2 назв.

Ключевые слова: калибровка валков, силовые параметры, моделирование, усилия, моменты, очаг деформации, напряжения.

Технологии обработки материалов

УДК 621.771

Платов С.И., Терских Д.С. **Технологические особенности обработки арматурной проволоки путем отпуска под натяжением.**

Исследованиями на промышленной установке изучены технологические факторы процесса отпуска под натяжением высокопрочной арматурной проволоки. Показано, что оптимальное остаточное удлинение при такой стабилизирующей обработке должно быть 2%, температура нагрева 380°C. Отражено изменение механических свойств. Показано, что фактором упрочнения проволоки является протекание динамического деформационного старения. При этом сохраняется высокий уровень пластических свойств. Рассмотрены проблемы обрывности профилированной проволоки в процессе отпуска под натяжением с позиций формы профиля. Наиболее благоприятным в этом плане является 3-сторонний профиль с вмятинами. Даны рекомендации по настройке режима стабилизации.

Ил. 4. Табл. 4. Библиогр. 4 назв.

Ключевые слова: промышленная установка, остаточное удлинение, температура нагрева, механические свойства, упрочнение, профилированная проволока.

УДК 621.733

Мезин И.Ю., Чукин В.В. **Анализ вариантов формирования свойств исходной заготовки при производстве высокопрочной стальной арматуры для железобетонных шпал.**

Рассматриваются варианты формирования прочностных свойств исходных заготовок при производстве высокопрочной арматуры диаметром 9,6 мм для армирования железобетонных шпал. Приведены данные о расчетных режимах патентирования катанки из углеродистых марок стали диаметром до 18 мм. Сформулированы рекомендации по реализации указанного процесса.

Ил. 4. Табл. 4. Библиогр. 11 назв.

Ключевые слова: патентирование, углеродистая сталь, высокопрочная арматура, катанка, режимы нагрева.

УДК 621.762.4.04:621.78.061

Белокопытов В.И. **Прогнозирование анизотропии прочностных свойств изделий из алюминиевых гранул и разработка технологических процессов, приводящих к её снижению.**

Рассмотрено деформированное состояние материала при выдавливании полых изделий. Исследовано влияние геометрических и скоростных параметров процесса на неоднородность прочностных свойств полуфабрикатов из гранулированных материалов. Экспериментально подтверждена возможность аналитического прогнозирования анизотропии прочностных свойств штампованных из гранул поковок.

Ил. 1. Табл. 5. Библиогр. 9 назв.

Ключевые слова: анизотропия, гранулы, прочностные свойства, выдавливание, штамповка.

УДК 621.777

Боткина А.В., Валиев Р.З., Дубинина С.В., Рааб Г.И., Степин П.С. Прогнозирование разрушения металла в процессе интенсивной пластической деформации цилиндрической заготовки равноканальным угловым прессованием.

Проведен сравнительный расчет поврежденности металла при равноканальном угловым прессовании цилиндрической заготовки и показано хорошее согласование оценок поврежденности металла, полученных с использованием методик А. А. Богатова и Cockcroft & Latham.

Ил. 9. Библиогр. 32 назв.

Ключевые слова: процесс интенсивной пластической деформации; равноканальное угловое прессование; прогнозирование разрушения металла; материальная точка; напряженное состояние; поврежденность; компьютерное моделирование.

Материаловедение и термическая обработка металлов

УДК 621.777: 621.771.22

Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Трифонов Л.П., Орелкина Т.А., Дроздова Т.Н., Баранов В.Н., Галиев Р.И., Ворошилов Д.С. Исследование структуры и свойств деформированных полуфабрикатов из низколегированных сплавов системы Al-PZM, полученных с использованием метода совмещенного литья и прокатки-прессования.

Представлены результаты экспериментальных исследований влияния содержания мишметалла, а также мишметалла с добавками лантана и никеля на свойства и структуру пресс-изделий из низколегированных сплавов системы Al-PZM. Приведены значения механических свойств и удельного электросопротивления для опытных образцов из исследуемых сплавов, полученных методом совмещенного литья, прокатки и прессования.

Ил. 4. Табл. 1. Библиогр. 3 назв.

Ключевые слова: совмещенные процессы, литье, прокатка, прессование, механические свойства, электромагнитный кристаллизатор, структура, электросопротивление.

УДК 620.1:669.1

Гадалов В.Н., Афанасьев А.А., Романенко Д.Н., Болдырев Ю.В., Рагулина Л.Г., Шестакина С.В. Абразивная износостойкость металлических материалов с цементитосодержащими структурами.

В статье рассматривается природа абразивного изнашивания, факторы, влияющие на нее, а также абразивная износостойкость различных материалов.

Ил. 5. Табл. 1. Библиогр. 10 назв.

Ключевые слова: абразивное изнашивание, износостойкость, железохромистые сплавы, карбиды, напряжения, твердая фаза.

УДК 669.15-196:621.746.62

Петроченко Е.В., Молочкова О.С. Анализ взаимосвязи химического состава, условий охлаждения при затвердевании с особенностями строения сплавов, окисленной поверхности и свойствами комплексно-легированных белых чугунов.

В работе исследованы особенности формирования структуры жароизносостойких комплексно-легированных белых чугунов, влияние химического состава и скорости охлаждения на твердость, износостойкость, окислительность, микротвердость металлической основы и эвтектики и состояние окисленной поверхности. Показано, что окислительность зависит не только от химического состава сплава, но и от особенностей его структуры. Поэтому, увеличивая плотность хромистой эвтектики при сохранении достаточной легированности хромом металлической матрицы, можно повысить окислительность белых чугунов.

Ил. 2. Табл. 1. Библиогр. 6 назв.

Ключевые слова: окислительность, белые легированные чугуны, износостойкость, хромистая эвтектика.

Стандартизация, сертификация и управление качеством

УДК 658.562.012.7

Черкасов К.Е., Румянцев М.И., Черкасов М.Е., Якушев Е.В., Карагодин Ю.И., Бочков Д.Г. Повышение результативности статистического приемочного контроля по связи между параметрами за счет модернизации комплекса независимых переменных на примере Толстолистового проката для ОАО «ГАЗПРОМ».

С целью снижения вероятности отгрузки проката, ошибочно признанного годным, и вероятности приемки несоответствующей продукции обоснован выбор комплекса независимых переменных для построения расчетных зависимостей механических свойств как уравнений множественной регрессии и искусственных нейронных сетей. Полученный комплекс независимых переменных позволит обеспечить более высокую статистическую надежность и достоверность результатов контроля, тем самым позволит выполнить требование корпоративных стандартов ОАО «ГАЗПРОМ».

Ил. 1. Табл. 2. Библиогр. 6 назв.

Ключевые слова: толстолистовой прокат, статистический приемочный контроль, уравнения регрессии, нейронные сети.

Надежность и долговечность металлургического оборудования

УДК 531.43/46

Анцупов А.В., Чукин М.В., Анцупов А.В. (мл.), Анцупов В.П. Научные и методологические основы прогнозирования надежности трибосопряжений на стадии их проектирования.

Предложена методология прогнозирования надежности трибосистем как совокупности основополагающих теоретических положений (научная основа) процесса построения модели их отказа. Математическое описание процесса формирования закона надежности на стадии проектирования сопряжений представлено формированием системы базовых уравнений и условий; уравнения состояний сопряжения; модели изнашивания его элементов; условия работоспособности и условия перехода трибосопряжения в предельное состояние.

Общий методологический подход реализован в виде методики вероятностного прогнозирования «стационарных» сопряжений. Проведен анализ основополагающих уравнений и дана их графическая интерпретация.

Ил. 2. Библиогр. 7 назв.

Ключевые слова: прогнозирование, надежность, отказ, трение, износ, ресурс.

УДК 621.979-82.001.8

Новиков В.И., Кадошников В.И., Куликова Е.В. Исследование условий эксплуатации колонных ковочных прессов.

В условиях машиностроительных и ремонтных предприятий широкое распространение получили ковочные прессы с верхним исполнением привода и четырехколонной конструкцией неподвижной станины. Деформация нагретой заготовки осуществляется бойком, зафиксированным на подвижной поперечине прессы. Ковочные прессы работают в условиях эксцентриситета приложения нагрузки, воздействия нагретой до ковочной температуры заготовки (700–1250°C) и при наличии в окружающем пресс пространстве окалины. Анализ литературных источников показал, что все исследования данного оборудования направлены на изучение влияния, оказываемого эксцентриситетом приложения технологической нагрузки, и не затрагивается температурное взаимодействие между обрабатываемой заготовкой и оборудованием, не упоминается о влиянии окалины на детали и узлы прессов.

Ил. 2. Табл. 2. Библиогр. 7 назв.

Ключевые слова: ковочный пресс, колонный, эксцентриситет, износ, жесткость конструкции, тепловое воздействие.

Автоматизация и управление процессами

УДК 52.45.15, 50.03.03

Рябчиков М.Ю., Парсункин Б.Н., Андреев С.М., Полько П.Г., Логунова О.С., Рябчикова Е.С., Головкин Н.А. Нечеткое экстремальное управление процессом измельчения руды для обеспечения максимальной производительности.

В работе предлагается система автоматической оптимизации управления процессом измельчения медно-цинковой руды, позволяющая осуществлять управление агрегатом в режиме максимальной производительности при использовании принципов нечеткой логики и экстремального регулирования.

Анализ результатов математического моделирования работы разрабатываемой САОУ процессом измельчения рудных материалов показывает устойчивую работу системы и высокую эффективность поиска максимальной производительности технологического агрегата. Предлагаемое техническое решение по оптимизации управления процессом измельчения рудных или любых других минералов позволяет ориентировочно увеличить производительность агрегатов на 1,5–2% при условии практически полного исключения вмешательства персонала в режим управления.

Ил. 4. Табл. 2. Библиогр. 4 назв.

Ключевые слова: нечеткая логика, процесс дробления, шаровая мельница, автоматическое управление, системы оптимизации, поисковые системы, системы экстремального регулирования, нечеткий контроллер, функция принадлежности.

УДК 669.16+658.011.56

Парсункин Б.Н., Сеничкин Б.К., Андреев С.М., Рябчиков М.Ю. Повышение производительности доменной печи при

оптимизации автоматического управления подачей природного газа и технического кислорода в дутье.

В работе предлагается система автоматической оптимизации управления доменным процессом с целью повышения производительности доменной печи за счет автоматического регулирования природного газа.

Данная система способна в условиях неопределенности и недостаточности исходной информации определять и поддерживать максимально возможную текущую производительность доменной печи.

Система рассчитана на программную реализацию при использовании современных микропроцессорных регулирующих контроллеров и не требует дополнительных технических средств для реализации в производственных условиях.

Ил. 5. Библиогр. 3 назв.

Ключевые слова: доменная печь, производительность, природный газ, технический кислород, автоматическое управление, системы оптимизации, поисковые системы, контроллеры.

УДК 669.187.2.036.046.001.57

Агапитов Е.Б., Болкунова В.А., Шутков К.В. Численное моделирование теплового состояния водоохлаждаемой доменной фурмы при наливании расплава шлака на ее поверхность.

Стойкость применяемых воздушных фурм определяет технологический уровень доменного производства. В работе проводилось исследование динамики прогара фурм и поиск решений по их устранению путем численного моделирования с помощью Flow Vision. Была рассчитана гидродинамика потока охлаждающей воды, смоделирована нестационарная задача охлаждения капли жидкого шлака, наливаемой на стенку фурмы. Сделан вывод, что для повышения стойкости доменной фурмы необходимо обеспечить ее интенсивное охлаждение, для чего следует увеличить скорость движения воды.

Ил. 3.

Ключевые слова: фурма, прогар, моделирование.

Энергетика металлургии, энергосбережение и электротехнические комплексы

УДК 669.1.013.5

Никифоров Г.В., Журавлев Ю.П., Девятков Д.Х. Развитие энергетической базы и электротехнических комплексов ОАО «ММК».

Представлены основные этапы становления и развития Магнитогорского металлургического комбината. Показан вклад ММК в экономику России на различных исторических этапах. Дана характеристика современного уровня производства. Особое внимание уделено анализу состояния энергетической базы и перспектив ее развития.

Ил. 2. Библиогр. 4 назв.

Ключевые слова: Металлургический комбинат, история, развитие, реформы, производство, энергетика, энергопотребление, выработка, перспективы, программы.

УДК 621.313.333

Корнилов Г.П., Храмшин Т.Р. Карандаева О.И., Губайдуллин А.Р., Галлямов Р.Р. Способы повышения устойчивости частотно-регулируемых электроприводов при нарушениях электроснабжения.

Показано, что недостатком частотно-регулируемых электроприводов является неустойчивая работа при кратковременных нарушениях электропитания. Рассмотрены современные способы управления и схемы электроприводов с накопителями энергии, с электропитанием от двух вводов, с вентильно-индукторным двигателем.

Ил. 5. Библиогр. 15 назв.

Ключевые слова: электропривод, частотное регулирование, нарушение электроснабжения, аварии, резервирование, системы управления, вентильно-индукторный двигатель.

УДК 621.333

Омельченко Е.Я. Магнитодвижущие силы двухфазных обмоток асинхронных двигателей.

Построены пространственно-временные волны магнитодвижущих сил для 2-фазных обмоток асинхронных двигателей с учетом распределения обмоток по пазам, ширины и скося пазов. Выявлены дополнительные колебания волны магнитодвижущих сил 4-кратной частоты. Построены графики максимумов для однослойных и двухслойных обмоток. Материалы статьи необходимо использовать при расчете магнитных систем асинхронных двигателей.

Ил. 4. Табл. 1. Библиогр. 4 назв.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, 2-фазные обмотки, волна магнитодвижущих сил.

УДК 669.187.2.036.046.001.57

Агапитов Е.Б. Энергосбережение при струйно-плазменной ковшовой обработке расплава стали.

Рассмотрены перспективы энергосбережения при струйно-

плазменной ковшовой обработке расплава стали в агрегатах типа печь-ковш, вакууматор. Приведены результаты экспериментальных исследований, которые показали, что снижение влияния внесистемных факторов на условия горения электрических дуг благоприятно сказывается на энергетике внепечной обработки.

Ил. 3.

Ключевые слова: энергосбережение, струйно-плазменная ковшовая обработка, печь-ковш, вакууматор.

Экономика, управление и рынок продукции

УДК 658.1

Богатырев С.Ю. Розничный малый бизнес: выживание через оценку.

Раскрываются способы применения основных подходов к оценке розничных малых предприятий, в условиях неучтенного наличного оборота, отсутствия бухгалтерского и управленческого учета, адекватного программного обеспечения учета товародвижения. Учет фактора диверсификации и синергетического эффекта в розничном малом бизнесе. Предлагаются способы удешевления оценочных услуг для розничных предприятий малого бизнеса.

Библиогр. 11 назв.

Ключевые слова: оценка бизнеса, оценка предприятия, малый бизнес, малое предприятие, поддержка малого предпринимательства, синергия, синергетика, диверсификация.

УДК 332.12

Бессонова Ю.А., Слуккина С.А. Совершенствование методической базы механизма формирования и функционирования интегрированных структур.

Современное положение экономики ставит предприятия перед необходимостью проведения различных форм реструктуризации, направленных на повышение эффективности деятельности. В этой связи особое значение приобретает совершенствование механизма формирования и функционирования интегрированных структур. Основным условием для этого является разработка методического аппарата, который позволил бы создавать наиболее гармоничные системы и постоянно адаптировать их к изменяющимся условиям, рационально строить взаимоотношения внутри интегрированной структуры.

Ил. 3. Библиогр. 3 назв.

Ключевые слова: интегрированные структуры, механизм, методическая база, метод, методика, методический подход.

УДК 336.76

Решетникова Т.В., Тульский Ю.М. Волатильность рынка ценных бумаг и ее влияние на эффективность IPO.

В работе изучены и проанализированы различные точки зрения на дефиницию «волатильность». Что позволило нам дать определенное волатильности рынка. Дана характеристика стадиям низкой и высокой конъюнктуры фондового рынка. Выявлены факторы, влияющие на успешность IPO компании, а также то, что одним из таких факторов является волатильность рынка акций. Проанализированы так называемые «народные IPO» компаний: «Роснефть», «Сбербанк» и «ВТБ», оценена степень успешности их публичных размещений.

Табл. 1. Библиогр. 8 назв.

Ключевые слова: волатильность, IPO, конъюнктура, тренд, публичное размещение акций, фондовый рынок.

УДК 519

Королькова Л.И. Расчет характеристик поточной формы организации ремонтного производства сельскохозяйственной техники.

Рассматривается многофазная система, моделирующая поточную линию с непрерывной загрузкой на первом рабочем месте, без межоперационных накопителей. Время обслуживания на каждом рабочем месте, общее время функционирования поточной линии являются произвольно распределенными. Исследуются показатели, связанные с блокированием рабочих мест. Проводится сравнение показателей функционирования двух четырехфазных поточных линий.

Ил. 3. Табл. 1. Библиогр. 5 назв.

Ключевые слова: поточная линия, многофазная система, произвольное распределение времени обслуживания, блокировка.

Математика

УДК 517.927.25

Малеко Е.М., Чурсина Н.В. О возмущении дискретного оператора оператором сдвига.

В работе рассмотрено возмущение абстрактного дискретного оператора одним оператором сдвига. С учетом полученных ограничений вычислены собственные числа и собственные функции возмущенного оператора.

Библиогр. 2 назв.

Ключевые слова: гильбертово пространство, собственные числа, собственные функции.

REPORTS

Mining

UDC 622.272

Kalmykov V. N., Mecsherykov E. Y., Volkov P. V. Substantiation parameter the geotechnological module «Clearing works» at development of stocks in border zones of open-cast mines.

The structure of mining system is allocated at deposit development by the open and underground way. The module of is opened-underground mountain works is developed. Elementary sites border open-cast mine zones are shown. The algorithm of optimization of the elementary module «Clearing works» is made.

Fig. 5. Bibliogr. 4 names.

Key words: module, border stocks, elementary sites, ekonomicheskoy - mathematical model.

Metallurgy of Ferrous, Non-ferrous and Rare Metals

UDC 669.162.266.2/4

Druzhkov V.G., Prokhorov I.E. Selection of the mode of hot metal and slag tapping from the hearth of blast furnaces within modern conditions.

Application of resistant notch and chute refractory mixtures, as well as hot metal ladle of large capacity, during the past 20 years resulted in a significant change of the mode of iron and slag tapping's. Two main directions were established, when selecting the tapping mode, increasing of tapping capacity or duration. The advantages of the discharge mode with the increased duration are recommended below.

Fig. 1. Table 3. Bibliogr. 6 names.

Key words: blast furnace, hot metal tapping, blast furnace smelting technology.

Foundry Engineering

UDC 621.785.72:621.771.07

Vdovin K.N., Zaitseva A.A. Influence of heat treatment on the boron microalloyed roll iron.

The authors research the influence of boron on the microstructure and hardness of roll iron before and after heat treatment.

Nowadays rolling-mill rolls are a not unimportant part of rolling equipment. First of all, rolls have to be competitive in their quality. Searches of ways roll quality improvement are going on. One of those ways is microalloying. Boron were chose as modifier, because it has relationship to carbon and can changes carbon's atoms in cementitic phase of iron. In this case formula of cementit has get appearance $Fe_3C_{0.8-1}$. By means of changing part of carbon's atoms boron increases hardness of roll iron. With increasing of heat treatment's temperature hardness of boron microalloyed roll iron grows.

Fig. 2. Table 2. Bibliogr. 5 names.

Key words: rolls, roll iron, boron, heat treatment, microstructure, hardness, microhardness, microalloying, cementit.

UDC 621.74

Sushko T.I., Lednev A.S., Pashneva T.V., Turishev V.V., Rudneva I.G. The optimization of the technological process of casting «Body» obtained by the LPM.

The process of forming the casting «Body», received by the LPM with the help of computer modeling in computer simulation of foundry LPM Flow.

Fig. 1. Table 3.

Key words: computer simulation, three-dimensional model, casting.

Pressure Treatment of Metals

UDC 621.771.06:621.892

Platov S.I., Rumjancev M.I., Dema R.R., Kharchenko M.V. Efficiency hot rolling process with use lubricant materials between backup and work rolls on continuous wide-strip hot rolling mill 2000.

Introduce classification product mix in terms of technical and rheological characteristic. Propose recommendation with account specific of production. Generate dependencies with make registries changes in hot rolling process with use system of oil supply.

Key words: hot rolling, lubricants, system of oil supply.

Fig. 3, Table 1, Bibliogr. 10 names.

UDC 621.771

Kinzin D.I., Kalugina O.B. Assessment of deformation hearth form indicator's influence on widening in shape rolling.

The analysis of shape-changing parameters basing on the least resistance principle formulation has been done.

The dependence between received calculation accuracy and deformation hearth shape has been revealed. In order to extend the applying area of form-shaping calculation methodology the correctional coefficient has been suggested.

In order to determine the correctional coefficient's value the analytical dependence based on multiple regression analysis was elaborated.

The correctional coefficient's introduction has allowed to decrease the average calculation error of lengthening coefficient in shape rolling on smooth rolls and on calibers from 4.5% to 2%. The maximum calculation error doesn't exceed 3%.

As a result, the more exact taking into account of deformation hearth shape allows to extend the applying area of the metal shape-change determination methodology practically into full range of rolled products.

Fig. 2. Bibliogr. 6 names.

Key words: shape rolling, modeling, deformation hearth shape characteristics, calculation of widening, correction coefficient.

UDC 621.771.06-589.4

Raskatov E.Y., Lehov O.S. The choice of a rational grooving rolls pilger mills.

Analysis of three variants of the grooving rolls pilger mills from the position of loading mechanical equipment and actuators, the level and nature of stress distribution in the deformation zone is performed

Fig. 6. Table 2. Bibliogr. 2 names.

Key words: grooving, power options, modeling, roll force, instance, deformation zone, stress.

Technologies of Material Processing

UDC 621.771

Platov S. I., Terskih D.S. Technological features of processing reinforcing wire through the vacation by tension.

Research on industrial installation of the technological factors of leave under tension high-strength reinforcing wire. It is shown that the optimal residual elongation at such a stabilizing treatment should be 2%, the temperature of the heating 380° C. Reflected changes in the mechanical properties. It is shown that the factor of hardening of the wire is the dynamic strain ageing. At the same time remain high plastic properties. The problems of break profiled wire in the process of release under tension from the standpoint of profile forms. The most favorable in this respect is a 3-way profile with dents. Recommendations are given for setting up the stabilization mode.

Fig. 4. Table 4. Bibliogr. 4 names.

Key words: industrial installation, residual elongation, the heating temperature, mechanical properties, hardening, profiled wire.

UDC 621.733

Mezin I.Y., Chukin V.V. The analysis of the variants of shaping qualities of starting stock material during manufacture high-strength steel reinforcement for reinforced-concrete ties.

The variants of shaping strength characteristics of starting stock materials during manufacture the high-tensile fixture with a diameter 9.6 mm for reinforcement of the reinforced-concrete ties are considered. The data about calculated conditions of the patenting rolled wire of the carbonic steel grade with a diameter up to 18 mm are cited. The recommendations about realization of the specified process are formulated.

Fig. 4. Table 4. Bibliogr. 11 names.

Key words: patenting, carbonic steel, high-strength reinforcement, rolled wire, heating mode.

UDC 621.762.4.04:621.78.061

Belokopytov V.I. Anisotropy prediction of strength properties of articles made of aluminum pellets and working out of processes for its decrease.

The author considers the strain state of material during extrusion of hollow articles and examines the influence of geometry and velocity parameters on the heterogeneity of strength properties of pelletized semi-finished materials. Experiments confirmed the possibility to predict the anisotropy of mechanical properties of extruded pellets forgings.

Fig. 1. Table 5. Bibliogr. 9 names.

Key words: anisotropy, pellets, strength properties, extrusion, stamping.

UDC 621.777

Botkin A.V., Valiev R.Z., Dubinina S.V., Raab G.I., Stepin P.S. Prediction of metal failure in a cylinder billet during severe plastic deformation via equal-channel angular press.

A comparative calculation of metal damaging at equal channel angular pressing of a cylindrical sample is done and its good reconciliation with computer simulation appraisalment by A.A. Bogatov and Cockroft & Latham is shown.

Fig. 9. Bibliogr. 32 names.

Key words: Severe plastic deformation (SPD), equal-channel angular pressing, predictive modeling of metals fracture, point mass, tension, damage, computer simulation.

Material Science and Thermal Metal Treatment

UDC 621.777: 621.771.22

Sidelnikov S.B., Dovjenko N.N., Triphononov L.P., Oryolkina T.A., Drozdova T.N., Baranov V.N., Galiev R.I., Voroshilov D.S. Research of the structure and properties of deformed semi-finished products of low-alloy alloys system Al-REM (rare earth metals) obtained by combined methods of casting and forming.

There were presented results of experimental studies on the effect of mixture metal content, as well as with the addition of mixture metals of lanthanum and nickel on the properties and structure of extruded products from the low-alloy alloys system Al-REM. Shown the values of mechanical properties and electrical resistivity for the prototypes of the alloys obtained by the combined casting-rolling and extrusion.

Fig. 4. Table 1. Bibliogr. 3 names.

Key words: combined processes, casting, rolling, extruding, mixture of metals, lanthanum, nickel, mechanical properties, structure, electrical resistivity.

UDC 620.1:669.1

Gadalov V.N., Afanasev A.A., Romanenko, D.N., Boldyrev Y.V., Ragulina L.G., Shestavina S.V. Abrasive wear of metallic materials with structures tsementitsooderzhazhimi.

The article examines the nature of abrasive wear factor of the torah, influencing it, as well as abrasive wear resistance of various materials.

Fig. 5. Table 1. Bibliogr. 10 names.

Key words: abrasion, wear, iron-alloys, carbides, stress, the solid phase.

UDC 669.15-196:621.746.62

Petrochenko E.V., Molochkova O.S. The analysis of interrelation of a chemical compound, refrigerating conditions at hardening with features of a structure of the alloys, the oxidized surface and properties in a complex-alloyed white irons.

In work features of formation of structure heat- and wear resistant in a complex-alloyed white iron, and influence of a chemical compound and speed of cooling on hardness, wear resistance, oxide resistance, microhardness of a metal basis and eutectic and a condition of the oxidized surface are investigated. It is shown that oxide resistance depends not only on an alloy chemical compound, but also from features of its structure. Therefore, increasing density chromic eutectic at preservation sufficient alloying chrome of a metal matrix, it is possible to raise oxide resistance white iron.

Fig. 2. Table 1. Bibliogr. 6 names.

Key words: oxide resistance, white alloyed irons, wear resistance, chromic eutectic.

Standardization, Certification and Quality Management

UDC 658.562.012.7

Cherkasov K.E., Rymjantsev M.I., Cherkasov M.E., Yakyshev E.V., Karagodin Y.I., Bochkov D.G. Increase of productivity of the statistical acceptance control on communication between parameters at the expense of modernization of the complex of the independent variables on the exampleplate iron for JSC «GAZ-PROM».

For the purpose of decrease in probability of shipment of the hire wrongly recognized suitable, and probability of acceptance of inappropriate production the choice of a complex of independent variables for construction of settlement dependences of mechanical properties as equations of plural regress and artificial neural networks is proved. The received complex of independent variables will allow to provide higher statistical reliability and reliability of results of control, thereby will provide performance the requirement of corporate standards of JSC «GAZPROM».

Fig. 1. Table 2. Bibliogr. 6 names.

Key words: plate iron, statistical acceptance control, the regress equations, neural networks.

Safety and Durability of Metallurgical Equipment

UDC 531.43/46

Antsupov A.V., Chukin M.V., Antsupov A.V. (Jr.), Antsupov V.P. Scientific and methodological principles of reliability prediction friction units at the design stage.

A methodology of forecasting reliability tribosystems as a set of underlying theoretical assumptions (scientific basis), the process of constructing a model of their refusal. The mathematical description of the formation of the law of reliability at the design stage is represented

by the formation of conjugation system of basic equations and conditions: equation of state pairing, models wear of its elements, conditions and health conditions of the transition in friction units limit state.

The general methodological approach was implemented in the form of probabilistic forecasting techniques «fixed» interfaces. The analysis of the basic equations and their graphical interpretation is given.

Fig. 2. Bibliogr. 7 names.

Key words: forecasting, reliability, failure, friction, wear and share.

UDC 621.979-82.001.8

Novikov V.I., Kadoshnikov V.I., Kulikova E.V. Investigation of the operating conditions of column forging presses.

In terms of engineering and repair facilities are widely used forging press with a top performance drive and four-column design of fixed bed. Deformation of the heated billet is carried out striker fixed to the walking beam. Forging presses working in the eccentricity of load application, exposure to heated to forging temperature of the workpiece (700–1250°C) and in the presence of the press surrounding the space scale. In the literature shows a lot of research of this equipment, but almost always seen only the negative impact exerted by the eccentricity of load application, and almost paid the attention of thermal interaction between the workpiece and the equipment does not mention the influence of scale on the parts and assemblies presses.

Fig. 2. Table 2. Bibliogr. 7 names.

Key words: forging press, column, eccentricity, runout, rigidity of construction, thermal action.

Automation and control processes

UDC 52.45.15, 50.03.03

Ryabchikov M.Y., Parsunkin B.N., Andreev S.M., Polyko P.G., Logunova O.S., Ryabchikova E.S., Golovko N.A. Maximal efficiency fuzzy logic based extremal control system.

The work contains the conception of damp grinding automatic optimization system based on fuzzy logic and extreme controlling principles which helps to maximal productivity of the ball-tube mill.

The result of the mathematical modeling process of the control system work shows the high stability and maximal productivity level search process efficiency. Described damp grinding control solution allows to increase the productivity of the aggregates by 1,5-2% subject to complete elimination of technologist intermediation in process control.

Fig. 6. Table 2. Bibliogr. 4 names.

Key words: Fuzzy logic, milling process, ball-tube mill, automatic system, optimization system, search system, optimizing control, fuzzy controller, membership function.

UDC 669.16+658.011.56

Parsunkin B.N., Senichkin B.K., Andreev S.M., Ryabchikov M.Y. Blast furnace performance improvement by means of automatic control optimization of natural gas and technical oxygen submission in blasting.

An automatic optimization system of blast furnace process control for the purpose of performance improvement by natural gas automatic control is offered.

The given system is capable to define and support the maximum possible current capacity of a blast furnace in the conditions of uncertainty and insufficiency of the initial information.

The system is meant for software implementation with use of the modern microprocessor regulating controllers (или control units) and doesn't demand additional means for implementation under production conditions.

Fig. 5. Bibliogr. 3 names.

Key words: blast furnace, capacity, natural gas, technical oxygen, automatic system, optimization system, search system, optimizing control, controller.

UDC 669.187.2.036.046.001.57

Agapitov E.B., Bolkunova V.A., Chutov K.V. Numerical simulation of the thermal state of the water-cooled lance for blast furnace slag melt adheres to its surface.

Resistance used air tuyeres determines technological level domain proceedings. In this paper we studied the dynamics of burnout lances and search for solutions to address them, by numerical simulation using the Flow Vision. Was calculated hydrodynamics flow of cooling water, simulated nonstationary problem of cooling a drop of liquid slag adhering to the wall of the lance. Concluded that to improve the stability of blast lance is necessary to ensure its intense cooling, which should increase the speed of water movement.

Fig. 3.

Key words: lance, burnout, modeling.

Power Supply of Metallurgy, Energy Saving and Heat Power

UDC 669.1.013.5

Nikiforov G.V., Zhuravlyov Ju.P., Devjatov D.X. History formation and development power supply sources of open joint-stock company «MMK»

The basic stages of formation and development of Magnitogorsk iron-and-steel works are presented. Contribution MMK to economy of Russia at various historical stages is shown. The characteristic of a current state of production is given. The special attention is given the assaying of a state of power supply sources and prospects of its development.

Fig. 2. Bibliogr. 4 names.

Key words: Iron-and-steel works, history, development, reforms, production, a power engineering, power consumption, galling, prospects, programs.

UDC 621.313.333

Kornilov G.P., Hramshin T.R., Karandaeva O.I., Gubajdullin A.R., Galljamov R.R. Ways of the stability improvement of adjustable-frequency electric drives at losses of supply.

It is shown that a lack of adjustable-frequency electric drives is unsteady operation at short-term violations of the power supplies. Modern ways of running and the circuit design of electric drives with energy storage units, with the power supplies from two feedings into, with valve-inductor the propeller are observed.

Fig. 5. Bibliogr. 15 names.

Key words: the electric drive, frequency regulating, a loss of supply, crashes, redundancy, management systems, valve electric inductor.

UDC 621.333

Omelchenko E.Y. Magnetomotive forces of 2-phase windings asynchronous machines.

Existential waves m.m.f for 2-phase windings of an asynchronous machines taking into account distribution of windings on grooves, width and slant a slot are constructed. Additional fluctuations of a wave a m.m.f 4-fold frequency, accordingly are revealed. Schedules of maxima for single-layered and two-layer windings are constructed. Article materials are necessary for using at calculation of magnetic systems of an asynchronous machines.

Fig. 4. Table. 1. Bibliogr. 4 names.

Key words: asynchronous machines, 2-phase windings, wave a m.m.f.

UDC 669.187.2.036.046.001.57

Agapitov E.B. Power savings at plasma ladle-furnace to processing steels.

Power savings prospects became considered at plasma to processing steel in units of type the furnace-ladle, VOD-process. They are results of experimental research, that the reduction of influence of stand-alone factors on conditions burn of electric arches favorably for the extraoven processing energy.

Fig. 3.

Key words: power savings, plasma ladle-furnace, furnace-ladle, VOD-process.

Economics, management and production organization

UDC 658.1

Bogatyrev S.Y. Retail small business: a survival through appraisal.

Discloses a method of applying the basic appraisal approaches to the retail small businesses, in such circumstances as unreported cash flow, lack of financial and managerial accounting, accounting software adequate to goods movement. Integration of the diversification and synergies in the retail small business. Suggests ways to reduce the cost of valuation services for retail small businesses.

Bibliogr. 11 names.

Key words: business appraisal, the income approach, shop, wholesale and retail business, small business, support small businesses, synergy, diversification.

UDC 332.12

Bessonova J.A., Slukina S.A. Improvement of the methodical foundation of formation and operating mechanisms of integrated structures.

Abstract. Current situation in economy makes it necessary for enterprises to change its structure in order to increase its production efficiency. That is why the improvement of formation and operating mechanisms of integrated structures becomes very significant. The main condition for this is the development of the methodical instrument that might make it possible to create the most balanced systems and constantly adapt them to changing conditions as well as to establish efficient relations within the integrated structure.

Fig. 3. Bibliogr. 3 names.

Key words: integrated structures, mechanism, methodical foundation, method, methodology, technical approach.

UDC 336.76

Reshetnikova T.V., Tulsy Y.M. Securities market volatility and its influence on IPO efficiency.

In this study we try to investigate and analyze different ways of defining the concept of volatility. It allows us to attempt to give our definition of «market volatility». The low and high stages of stock market conditions are described. In this respect, we attempt to reveal the factors which have significance for the IPO company being successful and draw attention to the securities market volatility as one of them. In particular the analysis of so-called «people's IPO» of such companies as «Rosneft», «Sberbank» and «VTB» is given and the benefit degree of their public offering is estimated.

Table 1. Bibliogr. 8 names.

Key words: volatility, IPO, market conditions, trend, stock market, public offering.

UDC 519

Korolkova L.I. Calculation of performance of flow forms organization of repair production of agricultural machinery.

We consider a multi-phase system, which simulates the production line with a continuous load on the first job, without interoperable storage. The service time at each workplace, the total operating time the production line are randomly distributed. We study the performance associated with the blocking jobs. A comparison of indicators for the four-phase two production lines.

Fig. 3. Table. 1. Bibliogr. 5 names.

Key words: production line, multi-phase system, an arbitrary distribution of service time, blocking.

Mathematics

UDC 517.927.25

Maleko E.M., Chursina N.V. About perturbation of the discrete operator of the operator of shift.

In work perturbation of the abstract discrete operator of one operator of shift is considered. In view of the received restrictions eigenvalues and eigenfunctions of the perturbation operator are calculated.

Bibliogr. 2 names.

Key words: hilbert space, eigenvalues, eigenfunctions.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Агапитов Евгений Борисович – канд. техн. наук, проф., зав. кафедрой ТиЭС ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: jek_agapitov@mail.ru.

Андреев Сергей Михайлович – канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой «Промышленная кибернетика и системы управления» ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Тел. 8 (3519) 29-85-27. E-mail: pk_su@bk.ru.

Анцупов Александр Викторович – канд. техн. наук, доц. кафедры ТМС ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Направление исследований: повышение надежности деталей машин. E-mail: ants@mgn.ru.

Анцупов Алексей Викторович – канд. техн. наук, и. о. доц. кафедры МОМЗ ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Направление исследований: повышение надежности деталей машин. E-mail: ants@mgn.ru.

Анцупов Владимир Петрович – д-р техн. наук, проф. кафедры МОМЗ ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Направление исследований: повышение надежности деталей машин. E-mail: ants@mgn.ru.

Афанасьев Александр Александрович – д-р техн. наук, проф. кафедры «Технология машиностроения» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. Направление исследований: материаловедение и термическая обработка металлов и сплавов. Тел. (4722) 55-20-36. E-mail: tmrk@intbel.ru.

Баранов Владимир Николаевич – канд. техн. наук, доц. кафедры «Литейное производство» института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Тел. (8391) 2063754. E-mail: vnbar79@mail.ru.

Белокопытов Василий Иванович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Обработка металлов давлением» ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Направление исследований: обработка давлением порошковых металлических материалов. Тел. (391) 294-23-28. E-mail: VBelokopytov@sfu-kras.ru.

Бессонова Юлия Александровна – канд. экон. наук, ст. преп. кафедры экономики и управления на металлургических предприятиях ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург. E-mail: medyanik@inbox.ru.

Богатырев Семен Юрьевич – канд. экон. наук, доц. кафедры оценки и управления собственностью Финансового университета при Правительстве Российской Федерации. Направление исследования: учёт диверсификации и синергии при оценке бизнеса. E-mail: sybogatyrev@gmail.com.

Болдырев Юрий Викторович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Стандартизация и оборудование перерабатывающих производств» ФГОУ ВПО «Курская государственная сельскохозяйственная академия им. профессора И.И. Иванова», г. Курск. Направление исследований: материаловедение и термическая обработка металлов и сплавов. Тел. (4712) 53-13-30. E-mail: academy@kgsha.ru.

Болкунова Валентина Александровна – студентка пятого курса энергетического факультета ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: ValentinaBolk@mail.ru.

Боткин Александр Васильевич – канд. техн. наук, доц. Уфимского государственного авиационного технического университета. Тел. 8-347-2730871. E-mail: botkinav@yandex.ru.

Бочков Дмитрий Геннадьевич – начальник управления системы менеджмента качества и системы экологического менеджмента ОАО «Уральская Сталь». Тел. 8(3537)662066.

Валиев Руслан Зуфарович – д-р физ.-мат. наук, проф., зав. кафедрой нанотехнологий Уфимского государственного авиационного технического университета, научный руководитель Института перспективных материалов НИЧ УГАТУ. E-mail: RZValiev@mail.ru.

Вдовин Константин Николаевич – д-р техн. наук, проф., проректор по научной работе ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: Vdovin@magtu.ru.

Волков Павел Владимирович – аспирант кафедры подземной разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Тел. (3519) 29-84-66.

Ворошилов Денис Сергеевич – аспирант кафедры обработки металлов давлением института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Тел. (8391) 2063731. E-mail: sibdrug@mail.ru.

Гадалов Владимир Николаевич – д-р техн. наук, проф. кафедры «Материаловедение и сварочное производство» Юго-Западного государственного университета, г. Курск. Направление исследований:

материаловедение и термическая обработка металлов и сплавов. Тел. (4712) 50-68-80. E-mail: Gadalov-VN@yandex.ru.

Галиев Роман Илсурович – канд. техн. наук, доц. кафедры обработки металлов давлением института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Тел. (8391) 2063731. E-mail: gri@alukomgroup.ru.

Галлямов Раис Равильевич – главный инженер ТЭЦ ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Направление исследований: частотно-регулируемый электропривод вспомогательных механизмов тепловых электростанций. Тел. (3519) 24-46-10. E-mail: gallyamov.rg@mmk.ru.

Головкин Никита Анатольевич – аспирант кафедры «Промышленная кибернетика и системы управления» ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Тел. 8 (3519) 29-85-58.

Губайдуллин Андрей Рифович – аспирант ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Направление исследований: методы диагностирования асинхронных электроприводов. Тел. 8 (3519) 29-84-16.

Девятков Диллур Хасанович – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой вычислительной техники и прикладной математики. Направление исследований: разработка систем управления технологическими процессами в черной металлургии. Тел. 8 (3519) 29-85-63. E-mail: vt-pm@magtu.ru.

Дема Роман Рафаэлевич – канд. техн. наук, доц. кафедры МитОД ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Тел. (3519) 29 84 36. E-mail: demar78@mail.ru.

Довженко Николай Николаевич – д-р техн. наук, проректор-директор института нефти и газа, ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», проф. кафедры обработки металлов давлением, г. Красноярск. Тел. (8391) 293-78-46. E-mail: n.dovzhenko@bk.ru.

Дроздова Татьяна Николаевна – канд. техн. наук, доц. кафедры МитОМ института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Тел. (8391) 2063675.

Дружков Виталий Гаврилович – канд. техн. наук, доц. кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Направление исследований: теория и технология доменной плавки. Тел. (3519) 29-84-30.

Дубинина Светлана Владимировна – аспирантка Уфимского государственного авиационного технического университета. E-mail: Dubinina-SV@yandex.ru.

Журавлев Юрий Петрович – канд. техн. наук, главный энергетик ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Направление исследований: энергетика металлургических предприятий. Тел. (3519) 24-38-25. E-mail: zhuravlev.yr@mmk.ru.

Зайцева Александра Александровна – аспирант кафедры «Электрометаллургия и литейное производство» ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: Aleksz1986@mail.ru.

Кадошников Владимир Иванович – канд. техн. наук, проф., зав. кафедрой «Прикладная механика и графика» ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Тел. (3519) 29-84-75. E-mail: kvi-51@mail.ru.

Калмыков Вячеслав Николаевич – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой подземной разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Тел. (3519) 298461.

Калугина Ольга Борисовна – ст. преп. кафедры ИиИТ ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: kalugina.olga@bk.ru.

Карагодин Юрий Иванович – заместитель директора по качеству ОАО «Уральская Сталь». Тел. 8(3537) 66-27-89.

Карандаева Ольга Ивановна – доц. кафедры электротехники и электротехнических систем ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Направление исследований: методы повышения надежности силового электрооборудования. Тел. 8 (3519) 29-84-16. E-mail: oikaran@mail.ru.

Кинзин Дмитрий Иванович – канд. техн. наук, доц. кафедры ОМД ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: kinzin@mail.ru.

Корнилов Геннадий Петрович – д-р техн. наук, доц., зав. кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий» ФГБОУ ВПО «МГТУ», г. Магнитогорск. Направление исследований: оптимизация режимов работы энергоёмких электротехнических комплексов черной металлургии. Тел. (3519)298479. E-mail: Korn_mgn@mail.ru.

Королькова Любовь Ивановна – д-р техн. наук, доц., проф. кафедры «Детали машин» Челябинской агроинженерной академии. Тел. 8 (351) 266-65-21. E-mail: korolkovali@rambler.ru.

Куликова Екатерина Владимировна – канд. техн. наук, доц. кафедры «Прикладная механика и графика» ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Тел. (3519) 29-84-38.

Леднев Александр Сергеевич – студент Воронежского государственного технического университета. E-mail: Tat120675@yandex.ru.

Лехов Олег Степанович – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Механика», ФГАОУ ВПО «Российский государственный профессионально-педагогический университет».

Логунова Оксана Сергеевна – д-р техн. наук, действительный член АИИ им. А.М. Прохорова, доц., проф. кафедры вычислительной техники и прикладной математики ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Тел. 8(3519)298563. E-mail: logunova66@mail.ru.

Малеко Евгений Михайлович – канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры математики ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Направление исследований: спектральная теория операторов. E-mail: emaleko@rambler.ru.

Мезин Игорь Юрьевич – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Технологии, сертификация и сервис автомобилей» ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Тел. (3519)29-84-31. E-mail: mezinily1@mail.ru.

Мешеряков Эдуард Юрьевич – канд. техн. наук, доц. кафедры подземной разработки месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Тел. (3519) 22-21-13. E-mail: ntc@magtu.ru.

Молочкова Ольга Сергеевна – ассистент кафедры материаловедения и термической обработки металлов ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: opetrochenko@mail.ru.

Никифоров Геннадий Васильевич – д-р техн. наук, председатель Совета директоров ЗАО «Магнитогорскгазстрой». Направление исследований: энергосбережение в промышленности и на энергетических объектах. Тел. (3519) 24-52-55.

Новиков Валерий Иванович – аспирант кафедры «Прикладная механика и графика» ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: Fritjof@list.ru.

Омельченко Евгений Яковлевич – канд. техн. наук, доц. кафедры АЭПИМ ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Направление исследований: автоматизированный электропривод, силовая электроника, системы управления. E-mail: momentum2@yandex.ru.

Орелкина Тамара Александровна – канд. техн. наук, доц. кафедры МИТОМ института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Тел. (8391) 2063675.

Парсушкин Борис Николаевич – д-р техн. наук, действительный член АИИ им. А.М. Прохорова, проф. кафедры «Промышленная кибернетика и системы управления» ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Тел. 8 (3519) 29-84-32.

Пашнева Татьяна Владимировна – канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры ВМФММ Воронежского государственного технического университета. E-mail: Tat120675@yandex.ru.

Петроченко Елена Васильевна – канд. техн. наук, доц. кафедры материаловедения и термической обработки металлов ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Тел. (3519) 29-85-64. E-mail: opetrochenko@mail.ru.

Платов Сергей Иосифович – д-р техн. наук, проф., первый проректор ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Тел. (3519) 29 84 05. E-mail: psipsi@mail.ru.

Полько Павел Геннадьевич – учебный мастер кафедры вычислительной техники и прикладной математики ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Тел. 8(3519) 29-85-63.

Прохоров Иван Евгеньевич – канд. техн. наук, доц. кафедры металлургии черных металлов ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Направление исследований: теория и технология доменной плавки. Тел. (3519)29-84-30. E-mail: ivan_sam1970@mail.ru.

Рааб Георгий Иосифович – д-р техн. наук, доц. Уфимского государственного авиационного технического университета. Тел. (347) 272-98-77. E-mail: giraab@mail.ru.

Рагулина Людмила Георгиевна – аспирант кафедры «Материаловедение и сварочное производство» Юго-Западного государственного университета, г. Курск. Направление исследований: материаловедение и термическая обработка металлов и сплавов. Тел. (4712) 58-71-04. E-mail: svarka-kstu@mail.ru.

Раскатов Евгений Юрьевич – канд. техн. наук, доц. кафедры «Металлургические и роторные машины», ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург. E-mail: raskatov@pochta.ru.

Решетникова Татьяна Владимировна – проф. кафедры ценных бумаг и инвестиций ГОУ ВПО «Уральский государственный экономический университет», г. Екатеринбург. Направление исследований: инвестиции, рынок ценных бумаг, корпоративные финансы. Тел. (343)2519623. E-mail: reshalta@yandex.ru.

Романенко Дмитрий Николаевич – канд. техн. наук, доц., и.о. зав. кафедрой «Материаловедение и сварочное производство»

Юго-Западного государственного университета, г. Курск. Направление исследований: материаловедение и термическая обработка металлов и сплавов. Тел. (4712) 58-71-04, 920-705-30-33. E-mail: Romanenko-kstu46@yandex.ru.

Руднева Ирина Геннадьевна – канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры физики и химии Военного авиационного инженерного университета, г. Воронеж. E-mail: irrudneva@mail.ru.

Румянцев Михаил Игоревич – канд. техн. наук, проф. кафедры ОМД ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Тел. (3519) 29 85 25. E-mail: mihigrum@rambler.ru.

Рябчиков Михаил Юрьевич – канд. техн. наук, доц. кафедры «Промышленная кибернетика и системы управления» ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Тел. 8 (3519) 29-85-58.

Рябчикова Елена Сергеевна – ст. преп. кафедры «Промышленная кибернетика и системы управления» ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Тел. 8 (3519) 29-85-58.

Сеничкин Борис Кронидович – канд. техн. наук, доц. кафедры «Теплотехнические и энергетические системы» ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Тел. (3519) 29-85-27. E-mail: boris-senichkin@ya.ru.

Сидельников Сергей Борисович – д-р техн. наук, проф. кафедры обработки металлов давлением института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Тел.(8391) 2063731. E-mail: sbs270359@yandex.ru.

Слукина Светлана Александровна – канд. экон. наук, доц. кафедры экономики и управления на металлургических предприятиях. ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург.

Стёпин Пётр Сергеевич – аспирант Уфимского государственного авиационного технического университета. E-mail: peter.stepin@gmail.com.

Сушко Татьяна Ивановна – канд. техн. наук, доц. кафедры ФХТЛП Воронежского государственного технического университета. E-mail: Tane2020102010@mail.ru.

Терский Дмитрий Станиславович – ведущий инженер центральной исследовательской лаборатории ОАО «БМК». E-mail: d.terskih@list.ru.

Трифоновков Леонид Петрович – руководитель проекта департамента литейных проектов ООО «РУСАЛ ИТЦ», г. Красноярск. Тел (8391) 256-40-29. E-mail: Leonid.Trifonovkov@rusal.com.

Тулский Юрий Михайлович – аспирант кафедры ценных бумаг и инвестиций ГОУ ВПО «Уральский государственный экономический университет», г. Екатеринбург. Направление исследований: IPO, финансовые рынки, ценные бумаги. Тел. (343) 3881332. E-mail: Yu.Tulsky@gmail.com.

Туришев Владислав Владимирович – аспирант Воронежского государственного технического университета. E-mail: Tane2020102010@mail.ru.

Харченко Максим Викторович – аспирант кафедры МИТОД ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Тел. (3519) 29-84-80. E-mail: danc87@mail.ru.

Храмшин Тимур Рифхатович – канд. техн. наук, доц. кафедры электротехники и электротехнических систем ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Направление исследований: повышение энергетической эффективности электроприводов промышленных установок. Тел. 8 (3519) 29-84-16. E-mail: timur.hramshin@mail.ru.

Черкасов Кирилл Евгеньевич – аспирант кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Направление исследований: статистическое управление процессами. Email: keks_2004@inbox.ru.

Черкасов Михаил Евгеньевич – ведущий специалист отдела сопровождения заказов ОАО «Уральская Сталь». Тел. 8 (3537) 66-24-32.

Чуканов Виталий Васильевич – доц. кафедры «Материаловедение и термическая обработка металлов» ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Тел. (3519)29-85-67.

Чуканов Михаил Витальевич – д-р техн. наук, зав. кафедрой ММТ ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Направление исследований: повышение надежности деталей машин. E-mail: ants@mgn.ru.

Чурсина Наталья Владимировна – ассистент кафедры математики ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. Направление исследований: спектральная теория операторов. E-mail: chursina-1985@mail.ru.

Шестакина Светлана Владимировна – преп. кафедры «Высшая математика» Юго-Западного государственного университета, г. Курск. Направление исследований: материаловедение и термическая обработка металлов и сплавов. Тел. (4712) 52-38-24. E-mail: kaf.vm@mail.ru.

Шутов Константин Владимирович – аспирант кафедры ЭИЛП ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

Якушев Евгений Валерьевич – директор по качеству ОАО «Уральская Сталь». Тел. 8 (3537) 66-21-53.

THE INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Afanasyev Alexander Aleksandrovich – Ph.D., Professor, Department of Mechanical Engineering, Belgorod State technology intensive economies University. VG Shukhov. Expert in the field of materials science and heat treatment of metals and alloys. Phone: (4722) 55-20-36. E-mail: tmrk@intbel.ru.

Agapitov Eugene Borisovich – Ph.D., Professor, Head Department TaES of Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov. E-mail: jek_agapitov@mail.ru.

Andreev Sergey Mihailovich – Magnitogorsk State Technical University by G.I. Nosov, director of Industrial cybernetics and control systems department, candidate of technical science. Phone: 8 (3519) 29-85-27. E-mail: pk_su@bk.ru.

Antsupov Alexander Viktorovich – associate professor of Department. TMS, Magnitogorsk State Technical University, increasing the reliability of machine parts. E-mail: ants@mgn.ru.

Antsupov Alexei Viktorovich – candidate of technical sciences, and. Fr. Assistant Professor Mommsen, Magnitogorsk State Technical University, increasing the reliability of machine parts. E-mail: ants@mgn.ru.

Antsupov Victor Petrovich – doctor of Technical Sciences, Professor Mommsen, Magnitogorsk State Technical University, increasing the reliability of machine parts. E-mail: ants@mgn.ru.

Baranov Vladimir Nikolayevich – candidate of science, docent of Department of foundry proceedings at the Institute of Nonferrous Metals and Materials Science FSEI HPE «Siberian Federal University», Krasnoyarsk. Phone: (8391) 213-36-21.

Belokopytov Vasily Ivanovich – Cand. Sc. Engineering, Associate Professor Department «Metal Forming» (OMD) of the Federal State Educational Institution of Higher Learning «Siberian Federal University», Krasnoyarsk. Research – shaping of powdered metal materials. Phone: (391) 294-23-28. E-mail: VBelokopytov@sfu-kras.ru.

Bessonova Julia Aleksandrovna – Senior lecturer, Candidate of Economics, the department of economics and management of metallurgical enterprises. E-mail: medyanik@inbox.ru.

Bochkov Dmitry Genadevich – the head of department of system of quality management and system of ecological management of JSC «Ural Steel». Phone: 8 (3537) 66-20-66.

Bogatyrev Semon Yurievich – Ph.D., assistant professor of Valuation and Property Management Chair of The Financial University under the Government of the Russian Federation, the direction of research - taking into account the diversification and synergy in business valuation. E-mail: sybogatyrev@gmail.com.

Boldyrev Yuri Viktorovich – Ph.D., associate professor of standardization of equipment and processing facilities, Kursk of State Agricultural Academy. Professor I.I. Ivanova, A specialist in the field of materials science, and heat treatment of metals and alloys. Phone: (4712) 53-13-30. E-mail: academy@kgsa.ru.

Bolkunova Valentina Alexandrovna – fifth-year student at the Faculty of Energy of Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov. E-mail: ValentinaBolk@mail.ru.

Botkin Alexander Vacilevich – Ufa State Aviation Technical University, Assistant Professor, Doctor of Science. Phone: 8-347-2730871. E-mail: botkinav@yandex.ru.

Cherkasov Michael Evgenievich – the leading expert of department of support of orders of JSC «Ural Steel». Phone: 8 (3537) 66-24-32.

Cherkasov Kirill Evgenievich – the post-graduate student of chair of Processing of metals pressure of Government Technical University of Magnitogorsk of G.I. Nosova. A direction of researches: statistical management of processes. Email: keks_2004@inbox.ru.

Chukin Michael V. – doctor of technical sciences, Head of the Department of MMT, the Magnitogorsk State Technical University, increasing the reliability of machine parts E-mail: ants@mgn.ru.

Chukin Vitaliy Vasil'evich – assistant prof. of the department «Material science and thermal treatment of metals» of SEI HPT «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519)29-85-67.

Chursina Natalia Vladimirovna – the assistant, Magnitogorsk state technical university it. G.I. Nosov, the spectral theory of operators. E-mail: chursina-1985@mail.ru.

Chutovtov Konstantin Vladimirovich – postgraduate, Head Department EaMP of Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov.

Dema Roman Rafayalevich – candidate of science, «Magnitogorsk state technical university named G.I. Nosov», Magnitogorsk. Phone: (3519) 29 84 36. E-mail: demarr78@mail.ru.

Devjatov Diljaur Hasanovich – a Dr.Sci.Tech., the professor Managing chair of the Computer Science and Applied Mathematics. A direction of explorations: Development of process control in steel indus-

try. Phone: 8 (3519) 29-85-63. E-mail: vt-pm@magtu.ru.

Dovzhenko Nikolay Nikolayevich – D.Sc., pro-rector and director of Institute of Petroleum and Natural Gas Engineering, FSEI HPE «Siberian Federal University», Professor of the Department of pressure treatment of metals, Krasnoyarsk. Phone: (8391) 293-78-46.

Drozdova Tatiyana Nikolayevna – candidate of science, docent of Department of Metallurgy and heat treatment of metals at the Institute of Nonferrous Metals and Materials Science FSEI HPE «Siberian Federal University», Krasnoyarsk. Phone: (8391) 213-32-86.

Druzhkov Vitaliy Gavrilovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department ferrous metallurgy of SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov» Field of research: theory and technology of blast-furnace smelting. Phone: (3519) 29-84-30.

Dubinina Svetlana Vladimirovna – Ufa State Aviation Technical University, postgraduate. E-mail: Dubinina-SV@yandex.ru.

Gadalov Vladimir Nikolaevich – the doctor of technical science, professor of the chair of «Materials authority and welding fabrication», South West State University. The expert in the field of materials technology and thermal processing of metals and alloys. Phone: (4712) 50-68-80. E-mail: Gadalov-VN@yandex.ru.

Galiev Roman Ilisurovich – candidate of science, docent of the Department of pressure treatment of metals at the Institute of Nonferrous Metals and Materials Science FSEI HPE «Siberian Federal University», Krasnoyarsk. Phone: (8391) 213-35-50.

Galljamov Rais Ravilevich – the chief engineer of thermal power station of Open joint-stock company «Magnitogorsk iron-and-steel works», a direction of explorations: the variable-frequency electric drive of auxiliary mechanism thermal power stations. Phone: (3519) 24-46-10. E-mail: galljamov.rr@mmk.ru.

Golovko Nickita Anatolievich – Magnitogorsk State Technical University by G.I. Nosov, postgraduate of Industrial cybernetics and control systems department. Phone: 8 (3519) 29-85-58.

Gubajdullin Andrey Rifovich – post-graduate student «Magnitogorsk state technical university named G.I. Nosov», Magnitogorsk, a direction of explorations: methods of diagnosing of asynchronous electric drives. Phone: 8 (3519) 29-84-16.

Hramshin Timur Rifhatovich – a Cand.Tech.Sci., the senior lecturer, the senior lecturer of chair of an electrical engineering and electrotechnical systems of MITY; a direction of explorations: raise of energetic effectiveness of electric drives of plants. Phone: 8 (3519) 29-84-16. E-mail: timur.hramshin@mail.ru.

Kadoshnikov Vladimir Ivanovich – candidate of Technical Sciences, the senior lecturer, managing faculty «the applied mechanics and the schedule» of the state general educational establishment the supreme professional association «Magnitogorsk state technical university named after G. I. Nosov». Tel.: 8 (3519) 29-84-75. E-mail: kvi-51@mail.ru.

Kalmykov Vyacheslav Nikolaevich – doctor of technical science, professor, head of natural resources at the State Education Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov».

Kalugina Olga Borisovna – senior lecturer of «Information technology» department at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». E-mail: kalugina.olga@bk.ru.

Karagodin Yury Ivanovich – the deputy director on quality of JSC «Ural Steel». Phone: 8 (3537) 66-27-89.

Karandaeva Olga Ivanovna – the senior lecturer of chair of an electrical engineering and electrotechnical systems FGBOU VPO «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov», a direction of explorations: methods of a reliability augmentation of a power electric equipment. Phone: 8 (3519) 29-84-16. E-mail: oikaran@mail.ru.

Kharchenko Maksim Viktorovich – postgraduate student, «Magnitogorsk state technical university named G.I. Nosov», Magnitogorsk. Phone: (3519) 29 84 80. E-mail: dancer87@mail.ru.

Kinzin Dmitry Ivanovich – cand. of technical sciences, associate professor of «Metal forming» department at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». E-mail: kinzin@mail.ru.

Kornilov Gennady Petrovich – doctor of technical science, associate professor, head of the department «Power supply industrial enterprises» of SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Research field: operation modes optimization of power-intensive electrotechnical complexes of ironworks. Phone: (3519)298479. E-mail: Korn_mgn@mail.ru.

Korolkova Lubov Ivanovna – the professor of the chair «Ma-

chine Components», doctor of Engineering Science, associate professor. Chelyabinsk State Agriengineering Academy. Phone: 8 (351) 266-65-21. E-mail: korolkova1@rambler.ru.

Kulikova Ekaterina Vladimirovna – candidate of Technical Sciences, docent, sub-faculty «the applied mechanics and the schedule» of the state general educational establishment the supreme professional association «Magnitogorsk state technical university named after G. I. Nosov». Phone: (3519) 29-84-38.

Lednev Alexander S. – a Student of Voronezh State Technical University.

Lehov Oleg – Doctor of Technical Sciences, Professor at the Mechanics Department, Russian State Vocational Pedagogical University.

Logunova Oksana Sergeevna – Magnitogorsk State Technical University by G.I.Nosov, professor of Computer science and applied mathematics department, Doctor of technic, academician of A.M. Prohorov engineering academy, associate professor. Phone: 3519066757, 8(3519)298563. E-mail: logunova66@mail.ru.

Maleko Evgenie Mihajlovich – the candidate of physical and mathematical sciences, the senior lecturer, Magnitogorsk state technical university it. G.I.Nosov, the spectral theory of operators. E-mail: emaleko@rambler.ru.

Mescheryakov Eduard Yryevich – associate professor at the department of the underground mining of natural resources, candidate of technical science at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». E-mail: ntc@magtu.ru.

Mezin Igor Yur'evich – dr. of technical sciences, professor, head of the department «Technologies, certification and automobile's service» of SEI HPT «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519)29-84-31. E-mail: meziiny1@mail.ru.

Molochkova Olga Sergeevna – a lecturer of Material Science and Thermal Metal Treatment of SEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». E-mail: opetrochenko@mail.ru.

Nikiforov Gennady Vasilevich – a Dr.Sci.Tech., the chairman of Board of directors of closed corporation «Магнитогорскэстстрой», a direction of explorations: an energy conservation in the industry and on energetic installations, skew fields. Phone: (3519) 24-52-55.

Novikov Valeriy Ivanovich – post-graduate department at «the applied mechanics and the schedule» of the state general educational establishment the supreme professional association «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». E-mail: Fritjof@list.ru.

Omelchenko Evgenie Yakovlevich – candidate of the technical sciences, associate professor of Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosova. Scientific interests: automatic electric drive, power electronics, control systems. E-mail: momentum2@yandex.ru.

Oryolkina Tamara Alexandrovna – candidate of science, docent of Department of Metallurgy and heat treatment of metals at the Institute of Nonferrous Metals and Materials Science FSEI HPE «Siberian Federal University», Krasnoyarsk. Phone: (8391) 213-32-86.

Parsunkin Boris Nikolaevich – Magnitogorsk State Technical University by G.I.Nosov, professor of Industrial cybernetics and control systems department, doctor of technic, academician of A.M. Prohorov engineering academy, professor. Phone: 8 (3519) 29-84-32.

Pashneva Tatyana V. – Ph.D in Physics and Mathematics, assistant professor, associated professor of cathedra «Higher Mathematics and Physical and Mathematical Modeling» of Voronezh State Technical University.

Petrochenko Elena Vasilyevna – Candidate of Science, Associate Professor of the Department of Material Science and Thermal Metal Treatment of SEI HPE «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519) 29-85-64. E-mail: opetrochenko@mail.ru.

Platov Sergey Iosifovich – doctor of technical science, professor, «Magnitogorsk state technical university named G.I. Nosov», Magnitogorsk. Phone: 8 (3519) 29-84-36. E-mail: psipsi@mail.ru.

Polyko Pavel Gennadievich – Magnitogorsk State Technical University by G.I.Nosov, educational wizard of Computer science and applied mathematics department. Phone: 8 (3519) 29-85-63.

Prokhorov Ivan Evgenievich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department ferrous metallurgy of SEI (State Educational Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Field of research: theory and technology of blast-furnace smelting. Phone: (+73519)298430. E-mail: ivan_sam1970@mail.ru.

Raab Georgy Iosifovich – Ufa State Aviation Technical University, Associated professor, Doctor of Engineering. Phone: (347) 272-98-77. E-mail: giraab@mail.ru.

Ragulina Lyudmila Georgievna – graduate student «Materials and Welding Engineering», Southwest State University, Expert in the field of material and heat treatment of metals and alloys. Phone: (4712) 58-71-04. E-mail: svarka-kstu@mail.ru.

Raskatov Evgeny Yurievich – Candidate of Technical Sciences, associate professor at the Metallurgical and rotary machines Department, Urals Federal University of the first Russian President Boris Yeltsin. E-mail: raskatov@pochta.ru.

Reshetnikova Tatyana Vladimirovna – Professor of the Department of securities and investment of «Ural state university of economics», Ekate-

rinburg. Research field: investment, securities market, corporation funds. Phone: (343) 2519623. E-mail: reshalta@yandex.ru.

Romanenko Dmitry Nikolaevich – Ph.D., the senior lecturer, acting manage chairs «Materials technology and welding manufacture», Southwest state university, Kursk. The expert in the field of materials technology and thermal processing of metals and alloys. Phone: (4712) 58-71-04, 920-705-30-33. E-mail: Romanenko-kstu46@yandex.ru; bodies.

Rudneva Irina G. – Ph.D in Physics and Mathematics, assistant professor, associated professor of cathedra «Physics and Chemistry» of Military Aviation Engineering University (Voronezh).

Rumyancev Mikhail Igorevich – candidate of science, professor, «Magnitogorsk state technical university named G.I. Nosov», Magnitogorsk. Phone: 8 (3519) 29-85-25. E-mail: mihigrum@rambler.ru.

Ryabchikov Mihail Yurievich – Magnitogorsk State Technical University by G.I.Nosov, associate professor of Industrial cybernetics and control systems department candidate of technical science. Phone: 8 (3519) 29-85-58.

Ruabchikova Elena Sergeevna – Magnitogorsk State Technical University by G.I.Nosov, lecturer of Industrial cybernetics and control systems department. Phone: 8 (3519) 29-85-58.

Rumyancev Mikhail Igorevich – candidate of science, professor, «Magnitogorsk state technical university named G.I. Nosov», Magnitogorsk. Phone: 8 (3519) 29-85-25. E-mail: mihigrum@rambler.ru.

Senichkin Boris Kronidovich – candidate of Technical sciences, Associate Professor of the department «Heat engineering and energy systems of SEI HPE» «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». Phone: (3519) 29-85-58. E-mail: boris-senichkin@ya.ru.

Shestavina Svetlana Vladimirovna – Lecturer, Department of Higher Mathematics, Southwest State University, Expert in the field of materials science and thermally processing of metals and alloys. Phone: (4712) 52-38-24. E-mail: kaf.vm@mail.ru.

Sidelnikov Sergey Borisovich – D.Sc., Professor, Chief of the Department of pressure treatment of metals at the Institute of Nonferrous Metals and Materials Science FSEI HPE «Siberian Federal University», Krasnoyarsk. Phone: (8391) 213-35-50. E-mail: sbs270359@yandex.ru.

Slukina Svetlana Aleksandrovna – associate Professor, Candidate of Economics, the department of economics and management of metallurgical enterprises.

Stepin Peter Sergeevich – Ufa State Aviation Technical University, postgraduate. E-mail: peter.stepin@gmail.com.

Sushko Tatyana I. – Ph.D., assistant professor, associated professor of cathedra «Physics and Chemistry of foundry processes» of Voronezh State Technical University.

Terskih Dmitry S. – the guiding engineer the central research laboratory of OAO «BMK», hardware products. E-mail: d.terskih@list.ru, dterskikh@belmk.ru.

Trifonenkov Leonid Petrovich – project manager of Department of casting projects «RUSAL ETC» Ltd., Krasnoyarsk. Phone: (8391) 256-40-29.

Tulsky Yuriy Michaylovich – a post-graduate student of the Department of securities and investment of «Ural state university of economics», Ekaterinburg. Research field: IPO, securities, financial market. Phone: (343) 3881332. E-mail: Yu.Tulsky@gmail.com.

Turishhev Vladislav V. – a Post-graduate Student of Voronezh State Technical University.

Valiev Ruslan Zufarovich – Professor, Head of the chair of Nanotechnologies, Ufa State Aviation Technical University, director of the Institute of Physics of Advanced Materials, Scientific and Research department of USATU, Doctor of Physics and Mathematics. Phone: (347) 273-44-49; факс (347) 273-34-22. E-mail: RZValiev@mail.ru.

Vdovin Konstantin Nikolayevich – Doctor of Technical Science, Professor, pro-rector of science work of SEI (State Education Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov». E-mail: Vdovin@magtu.ru.

Volkov Pavel Vladimirovich – post-graduate student at the department of the underground mining of natural resources at the State Educational Institution of Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov».

Voroshilov Denis Sergeevich – post-graduate student of the Department of pressure treatment of metals at the Institute of Nonferrous Metals and Materials Science FSEI HPE «Siberian Federal University», Krasnoyarsk. Phone: (8391) 213-35-50. E-mail: sibdrug@mail.ru.

Yakushev Evgenie Valerevich – the director for quality of JSC «Ural Steel». Phone: 8 (3537) 66-21-53

Zaitseva Alexandra Alexandrovna – a post-graduate student of the department «Electrometallurgy and foundry engineering» of SEI (State Education Institution) HPE (Higher Professional Education) «Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov». E-mail: Aleksz1986@mail.ru.

Zhuravlyov Jury Petrovich – a Cand.Tech.Sci., chief power engineering's of Open joint-stock company «Magnitogorsk iron-and-steel works». A direction of explorations: a power engineering of the metallurgical factories. Phone: (3519) 24-38-25. E-mail: zhuravlev.y.p@mmk.ru.

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Мы приглашаем Вас к участию в нашем журнале в качестве авторов, рекламодателей и читателей. Журнал формируется по разделам, отражающим основные направления научной деятельности ученых МГТУ, в частности:

- РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.
- МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ.
- ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ.
- ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО
- ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ.
- МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ.
- СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ.
- МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.
- НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ.
- ЭНЕРГЕТИКА МЕТАЛЛУРГИИ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ.
- УПРАВЛЕНИЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ.
- СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТАЛЛУРГИИ.
- ЭКОЛОГИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ.
- ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И РЫНОК ПРОДУКЦИИ.
- СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ, ПОДГОТОВКА И ОБУЧЕНИЕ СПЕЦИАЛИСТОВ.
- ИНФОРМАЦИЯ И ДР.

Раздел «Новые исследования» или «Краткие сообщения» предназначен для оперативной публикации работ преимущественно аспирантов. В журнал входят учебно-методический и библиографический разделы. Общее количество разделов и их объем может варьироваться от номера к номеру.

ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ, ПРИНИМАЕМЫМ К ПУБЛИКАЦИИ

I. Рекомендуемый объем статьи – не более 6–8 стр.

К статье прилагаются:

- 1) экспертное заключение о возможности опубликования;
- 2) рецензия;
- 3) сведения об авторах (на английском и русском языках): фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание и должность, полное название учреждения, направление исследований, контактный телефон и E-mail каждого автора (всё перечислить в одном абзаце);
- 4) реферат на английском и русском языках по следующему образцу (~200 знаков):

UDC 622.27
Ivanov I.I., Petrov P.P. Development of gold-ore deposits extraction systems.
The method of sloping is represented...
Fig. 2. Table 2. Bibliogr. 7 names.

- 5) список литературы на английском и русском языках;
- 6) ключевые слова на английском и русском языках.

II. Текст статьи, сведения об авторах, реферат, список литературы и ключевые слова представляются на электронном носителе в виде файла, созданного средствами **Microsoft Word 2003**, и распечаткой на стандартных листах бумаги формата А4.

Внимание! Публикация статей является бесплатной. Преимущество опубликования представляется авторам и учреждениям, оформившим подписку на журнал.

Статьи проходят обязательное научное рецензирование.

Редакция оставляет за собой право отклонять статьи, не отвечающие указанным требованиям.

По вопросам публикации статей обращаться: 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. Магнитогорский государственный технический университет, Редколлегия журнала «Вестник МГТУ» М. Чукину.

Телефоны: (3519) 29-85-26, 29-85-17.

Факс (3519) 22-41-46.

E-mail: vestnik@magtu.ru; mgtu@magtu.ru; nis@magtu.ru (с указанием темы сообщения «Вестник МГТУ»).

При наборе статьи в **Microsoft Word 2003** рекомендуются следующие установки:

- 1) **шрифт** – **Times New Roman**, размер – 14 пт, межстрочный интервал – одинарный, перенос слов – автоматический;
- 2) при вставке **формул** использовать встроенный редактор формул **Microsoft Equation** со стандартными установками;
- 3) **рисунки и фотографии**, вставленные в документ, должны быть четко выполнены, допускать перемещение в тексте и возможность изменения размеров (толщины линий и размеры обозначений должны обеспечивать четкость при уменьшении рисунка до рациональных размеров). Рисунки предоставлять в виде распечатки на стандартных листах бумаги формата А4 и отдельным файлом в формате *.TIF, *.JPG, с разрешением **300 dpi**, B&W – для черно-белых иллюстраций, Grayscale – для полутонов, максимальный размер рисунка с подписью – 150×235 мм. В тексте статьи должны быть подрисуночные надписи в местах размещения рисунков. Например:

Рис. 4. Расчётная зависимость $\gamma(t)=I_{n\%}/I_{n0}$ от времени и удалённости КЗ от выводов асинхронного двигателя