

Редакционный совет:

Председатель редакционного совета:

И.Ю. Мезин - декан факультета стандартизации, химии и биотехнологий, зав. кафедрой, профессор, д-р техн. наук, ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова» (г. Магнитогорск).

Члены редакционного совета:

С.А. Апрошенко – доктор физико-математических наук, профессор, профессор Санкт-Петербургского государственного экономического университета, (г. Санкт – Петербург).

В.В. Бринза - директор НИЦ Технологического прогнозирования, д-р техн. наук, Национальный исследовательский университет «МИСиС» (г. Москва);

М.Б. Гитман – профессор, д-р ф.-м. наук, ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ПНИПУ) (г. Пермь);

И.Г. Гун – генеральный директор ЗАО НПО «БелМаг», профессор, д-р техн. наук

А.А. Кавалек - профессор, Ченстоховский технологический университет, Институт обработки металлов давлением и инженерной безопасности, (Польша);

А.Г. Корчунов – проректор по международной деятельности, профессор, д-р техн. наук, ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова» (г. Магнитогорск).

Редакционная коллегия:

Главный редактор:

А.М. Песин - профессор, д-р техн. наук, ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова».

Зам. главного редактора:

Г.Ш. Рубин - доцент, канд. техн. наук, ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова»;

Е.Г. Касаткина - доцент, канд. техн. наук, ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова».

Технический редактор:

Л.В. Крамзина - инженер, ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова».

Адрес редакции:

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38

Тел.: (3519) 29-84-31

E-mail: tssa@magtu.ru

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

Отпечатан на полиграфическом участке МГТУ.

Выход в свет

Заказ 488. Тираж 500. Цена свободная

ISSN 2310-6093

Editorial committee:

Chairman of editorial committee:

I. Y. Mezin – Prof., Dr. Sc., Nosov Magnitogorsk State Technical University.

Members of the editorial staff:

S. A. Atroshenko – DSci, professor, St.-Petersburg State Economic University.

V. V. Brinza – Dr. Sc., Director of Scientific Research Center of Technological Prognosis, National Research University «Moscow Institute of Steel and Alloys»;

M. B. Gitman – Prof., Dr. Sc., Perm National Research Polytechnic University;

I. G. Gun – Prof., Dr. Sc., General Director, BelMag JSC;

A. A. Kovalek – Prof., Częstochowa University of Technology, Institute of Metal Forming and Engineering Safety (Poland);

A. G. Korchunov – Prof., Dr. Sc., Vice-rector for International Relations, Nosov Magnitogorsk State Technical University.

Editorial staff:

Editor-in-chief:

A.M. Pesin – Prof., D.Sc., Nosov Magnitogorsk State Technical University.

Deputy chief editor:

G.Sh.Rubin – Assoc. Prof., Ph.D., Nosov Magnitogorsk State Technical University;

E.G. Kasatkina - Assoc. Prof., Ph.D., Nosov Magnitogorsk State Technical University.

Technical editor:

L.V.Kramzina – engineer, Nosov Magnitogorsk State Technical University.

Editorship address:

455000, city Magnitogorsk, Lenin Str. 38

Phone number: (3519)29-84-31

Email: tssa@magtu.ru

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

Publication date

Order 488. Circulation – 500 items. Open price.

ISSN 2310-6093

СОДЕРЖАНИЕ

Бринза В.В., Логинова В.В., Перк О.Н. Ресурсный потенциал металлургических предприятий инновационной специализации: системные оценки влияния на качество продукции.....	5
Атрошенко С. А., Грибанов Д.А. Процессный подход при оценке сопротивления импульсному разрушению металлических материалов	12
Кривцова О.Н., Гун Г.С., Кузьминова Н.Ю., Панин Е.А., Насонов А.И. Комплексная оценка качества арматурного проката, производимого в условиях АО «АМТ».....	18
Касаткина Е.Г., Мезин И.Ю., Солдатенко А.Ф. Анализ потребительских свойств платинита разных производителей.....	24
Салганик В. М., Полецков П. П., Бережная Г.А., Гущина М.С., Мишуков М. В. Разработка рациональных режимов прокатки высокпрочных сталей марок 17Г1С и 09Г2С с целью улучшения качества металлопроката.....	30
Трофимов В.Н., Карманов В.В., Панин Ю.В. Остаточные напряжения и критерий трещиностойкости	33
Васильчук А. С. Карта термопластов, применяемых в стоматологии.....	40
Рубин Г.Ш., Абдрахманова Р.Н. Моделирование динамики технических систем.....	45
Железков О.С., Ширяев О.П., Малаканов С.А., Морозов Н.П., Колесников В.Д. Влияние торцевой лунки на прочность соединения головки со стержнем болта.....	48
Сычков А.Б., Малашкин С.О. Особенности формирования однородной структуры и свойств катанки двустадийного охлаждения	50
Саранча С.Ю., Зайцев Д.А. Комплексная оценка качества конструкционных сталей	54
Понурко И.В., Костина З.И., Крылова С.А., Шабалин Е.И. Улучшение качества фосфатной композиции для обработки пожарно-питьевой воды.....	59
Песин А.М., Пустовойтов Д.О., Локотунина Н.М. Оценка поврежденности металла при асимметричной тонколистовой прокатке алюминиевого сплава 5083 ...	63

CONTENT

Brinza V.V., Loginova V.V., Perk O.N. Resource potential of innovation-oriented metallurgical companies: systemic assessment of the impact on product quality.....	5
Atroshenko S.A., Griбанov D.A. Process approach to the evaluation of pulse fracture resistance of metal materials.....	12
Krivtsova O.N., Gun G.S., Kuzminova N.Yu., Panin E.A., Nasonov A.I. Complex evaluation of quality of reinforced steel produced in JSC “AMT”.....	18
Kasatkina EG, Mezin I.Y, Soldatenko A.F. Analysis of consumer properties of different platinit manufacturers.....	24
Salganik V.M., Poletskov P.P., Berezhnaya G.A., Gushchina M.S., Mishukov M.V. The development of efficient rolling schedule for high-strength steel grades 17G1S and 09G2S to improve the quality of metal products	30
Trofimov V.N., Karmanov V.V., Panin Y.V. Residual stresses and the criterion of crack resistance.....	33
Vasilchuk A.S. Card of thermoplastics used in dentistry.....	40
Rubin G.Sh., Abdrakhmanova R.N. Modeling the dynamics of technical systems.....	45
Zhelezkov O.S., Shiryayev O.P., Malakanov S.A., Morozov N.P., Kolesnikov V.D. The effect of end-hole on the strength of the rod with bolt head.....	48
Sychkov A.B., Malashkin S.O. Features formation of a homogeneous structure and properties of the two-stage rod cooling.....	50
Sarancha S.Y., Zaitsev D.A. Comprehensive evaluation of construction steels quality	54
Ponurko I.V., Kostina Z.I., Krylova S.A., Shabalin E.I. Improvement of quality of phosphatic composition for processing of fire-potable water.....	59
Pesin A.M., Pustovoytov D.O., Lokotunina N.M. Evaluation of metal damage during asymmetric sheet rolling of aluminum alloy 5083.....	63

УДК 658.562: 65.018.2

Бринза В.В., Логинова В.В., Перк О.Н.

РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ИННОВАЦИОННОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ: СИСТЕМНЫЕ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ НА КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ

Аннотация. В статье рассмотрен ресурсный потенциал металлургических предприятий как один из инструментов повышения уровня качества выпускаемой ими продукции. Для определения обобщенных закономерностей изменения данного показателя под действием основных видов ресурсов объектами исследования отобраны три предприятия, значительно отличающиеся друг от друга по масштабам производства и степени инновационности продукции. Осуществлена структуризация основных составляющих деятельности исследуемых предприятий в составе различных видов их ресурсного потенциала. Это дало возможность использовать ранее разработанные прогностические модели развития металлургических компаний непосредственно для определения влияния их ресурсного потенциала на уровень качества продукции. Статья содержит конкретные результаты вычислительных экспериментов, подтвердившие необходимость дифференцированной поддержки различных видов ресурсного потенциала предприятий, отличающихся масштабами производства и уровнем инновационной специализации.

Ключевые слова: ресурсный потенциал, качество продукции, качественное моделирование, прогнозирование, конкурентное преимущество.

Отличительной особенностью функционирования мировых металлургических компаний в настоящее время является повышенная вероятность проявления по отношению к ним широкого спектра внешних рисков. Ведущими отраслевыми аналитиками отмечается, что «затяжной период неустойчивого спроса и низких цен, пришедший на смену сырьевому суперциклу, оказывает беспрецедентное влияние на инвестиционную привлекательность и доходность бизнеса, вынуждая металлургические компании коренным образом пересматривать существующие стратегии» [1].

На результаты работы отечественных предприятий – производителей металлопродукции дополнительно оказывает давление регресс российской экономики, вызванный падением цен на нефть, и санкциями, резко ограничившими доступ к мировым рынкам капитала [2], что ставит их в неравные условия в сравнении с зарубежными конкурентами. При этом возникающий положительный эффект для отечественных экспортеров от снижения курса рубля не перекрывает общей негативной динамики.

Многоплановые перечни рисков, перечисленных в [1-2], стимулируют российские металлургические компании к системному выявлению и использованию дополнительных

резервов повышения их конкурентоспособности на основных отраслевых рынках.

Ресурсный потенциал как средство повышения конкурентоспособности предприятий-производителей инновационной продукции.

Одним из основных путей достижения рыночных преимуществ компаниями-производителями в актуальных условиях является первоочередное развитие инновационных составляющих их деятельности [3-5]. Осуществление многовариантных вычислительных экспериментов с использованием прогнозной математической модели развития технического комплекса металлургического предприятия показало, что в условиях кризиса максимальный прирост в среднесрочной перспективе его конкурентоспособности достигается при реализации варианта скоординированной поддержки инновационных направлений деятельности в рамках реализации стратегии обновления [6]. В свою очередь, работы по тематике антикризисного менеджмента показывают, что инновационные приоритеты стратегии производственной компании могут быть обеспечены на базе активного использования их основного ресурсного потенциала [7,8]. Дополнительное одновременное усиление всех видов ресурсов

экономически нерационально, а зачастую, недостижимо в силу их ограниченности. Данное условие обуславливает поиск наиболее эффективных подходов поддержки ресурсного потенциала.

Среди публикаций, посвященных обоснованию дифференцированной поддержки различных составляющих ресурсного потенциала, следует выделить работы [9] и [10]. При этом в [9] для развития конкурентных преимуществ предприятий приведено обоснование первостепенной поддержки интеллектуальных (кадровых и управленческих) ресурсов. Результаты анкетирования руководителей российских предприятий обрабатывающих отраслей промышленности выявили существенные зависимости реализуемых на отечественных предприятиях инновационных моделей от масштаба деятельности, инновационной активности, выбора стратегии преимущественного использования составляющих ресурсного потенциала [10].

Вместе с тем информация об универсальных способах обоснования рациональной направленной поддержки отдельных видов ресурсного потенциала отечественных компаний, производящих инновационную продукцию, для дополнительного повышения их конкурентоспособности в литературе отсутствует. В этой связи целью настоящей работы явилось получение обобщенных оценок долевого влияния составляющих ресурсного потенциала предприятий на один из основных показателей конкурентоспособности – качество выпускаемой ими продукции. Указанная информация предназначена для использования в рамках стратегического менеджмента инноваций. Объектами исследований выбраны отечественные металлургические компании, занимающие лидирующие позиции на внутреннем и международных рынках инновационной металлопродукции. Для достижения поставленной цели привлекали метод прогностического моделирования развития сложных организационно-технических систем, базирующийся на методическом аппарате взвешенных ориентированных графов. Как показывает опыт применения указанного методического подхода, полученные с его использованием результаты дают достаточно полное представление о будущих состояниях моделируемых систем. В частности, сопоставление уровней качества продукции, производимой на предприятиях, достигаемых в среднесрочной перспективе при дополнительных импульсах развития каждого

из видов их ресурсов, даст возможность определить наиболее эффективную направленность ресурсной поддержки в различных производственных условиях.

Характеристика металлургических предприятий – объектов прогностических исследований.

Выбор перечня металлургических предприятий, информация о влиянии ресурсного потенциала которых на качество производимой продукции использована в данной работе, сопряжен с рядом условий. Во-первых, для достижения необходимой степени обобщенности результатов выбираемые предприятия должны иметь различные масштабы деятельности по объемам производимой продукции. Во-вторых, требуется, чтобы данные объекты исследований различались по степени инновационности продукции. В то же время информация о составляющих ресурсного потенциала всех рассматриваемых производителей должна быть сопоставима.

С этих позиций продуктивным оказалось привлечение к рассмотрению следующих предприятий металлургического профиля:

- ОАО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат» (ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК») – «А»;
- АО «Чепецкий механический завод» акционерного общества «ТВЭЛ» (АО ЧМЗ) – «В»;
- Промышленное производство сверхпроводящих материалов (создано на базе АО ЧМЗ) – «С».

ЕВРАЗ ЗСМК – один из пяти крупнейших в России металлургических предприятий, в 2014 году произвел 5,9 млн. тонн чугуна и 7,5 млн. тонн стали. Сортамент металлопродукции включает более 100 профилей и профилазмеров проката. Комбинат специализируется на производстве длинномерного сортового проката, непрерывнолитых и горячекатаных слябов, непрерывнолитой и горячекатаной сортовой заготовки, метизов и рельсов. Доля рельсового проката предприятия на российском рынке составляет 70%, строительного – 20%. Продукция поставляется в 30 стран мира. Комбинат успешно осваивает производство инновационных видов продукции. Среди последних внедрений, в первую очередь, следует отметить, холоднодеформированную арматуру класса В500С, высококачественную в современных строительных технологиях, а также 100-метровые дифференцированно-

термоупрочненные рельсы, производимые в мире ещё лишь двумя металлургическими компаниями [11]. Ряд инновационных разработок, внедренных на комбинате, является результатом научно-технического сотрудничества с коллективами вузов, НИИ, инжиниринговых центров [12]. Качество выпускаемой продукции ЕВРАЗ ЗСМК поддерживается на стабильном уровне, удовлетворяющем требованиям потребителей. Этому способствует функционирование на комбинате интегрированной системы менеджмента. Предприятие дважды становилось Лауреатом Премии Правительства Российской Федерации в области качества. Таким образом, ЕВРАЗ ЗСМК наряду с выпуском традиционной номенклатуры металлопродукции имеет значительную инновационную составляющую в поставляемом прокате. В этой связи для обеспечения сопоставимости с показателями инновационности других вышеупомянутых металлургических предприятий в рамках настоящей работы комбинату ЕВРАЗ ЗСМК присвоен базовый уровень (1-й уровень), что отмечено на **рис. 1**.

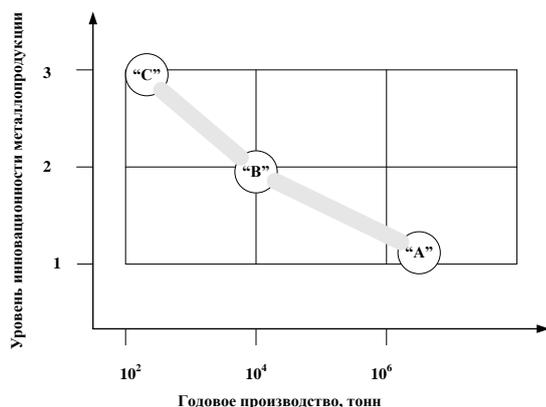


Рис. 1. Сопоставление металлургических предприятий "А", "В" и "С" по уровню инновационности и объемам годового производства металлопродукции

АО «Чепецкий механический завод» – один из лидеров в производстве уникальных изделий из циркония и его сплавов, природного и обедненного урана, металлического кальция и является одним из ключевых в технологической цепочке изготовления топлива, конструкционных материалов и изделий для ядерной энергетики. На базе АО ЧМЗ создан отраслевой центр металлургии. Технологические процессы производства, использующие передовой состав оборудования, включают все ос-

новные металлургические переделы – от получения исходных материалов и выплавки слитков до стадий обработки металлов давлением, термообработки и финишной отделки [13]. Ежегодный объем производимой продукции примерно 10 000 тонн. Технический потенциал завода базируется исключительно на передовых научных разработках. Соответственно, качество широкой номенклатуры получаемых изделий удовлетворяет самым строгим требованиям мировой атомной энергетики. Предприятие два раза отмечено Премией Правительства Российской Федерации в области качества. Представленная информация об АО ЧМЗ, дает основание оценить его инновационную активность на мировом уровне в масштабе отрасли, что по степени инновационности (**рис. 1**) в сравнении с вышерассмотренным комбинатом ЕВРАЗ ЗСМК логично отобразить уровнем 2.

Наконец, третья производственная система, привлеченная к рассмотрению в настоящей работе, представляет собой передовую по мировым меркам, наукоемкую инновационную структуру [14]. Первое в России промышленное производство сверхпроводящих материалов создано компанией АО «ТВЭЛ», входящей в состав государственной корпорации Росатом, в 2007-м году в рамках выполнения Россией обязательств по международному проекту строительства международного термоядерного реактора (ИТЭР). Полноправное участие в подобных программах международного сотрудничества является свидетельством высокого научно-технического потенциала и служит импульсом для ускоренного развития целого ряда высокотехнологичных отраслей экономики.

Созданная производственная база включает все основные этапы получения указанной продукции: восстановление исходных материалов, их выплавку до получения слитков высокочистых металлов, этапы деформирования и термообработки, финишные операции. В настоящее время на производстве освоен выпуск низкотемпературных сверхпроводящих стрендов из сплава NbTi (диаметр поперечного сечения – 0,73 мм, число волокон – 4488, диаметр каждого из волокон – 6,7 мкм), а также Nb3Sn (диаметр поперечного сечения – 0,82 мм, число волокон – более 10000, диаметр волокна – 2,5 мкм). Длина указанных многослойных композитов составляет не менее 1100 м. Получаемые изделия соответствуют жестким требованиям по качеству (заданному уровню и стабильности значений температурных и магнитных критических параметров,

сохранению целостности материала, структурной однородности по длине, допускам на геометрические размеры поперечного сечения, уровню токовых характеристик и т.д.). В настоящее время с учетом производимых полуфабрикатов годовой выпуск сверхпроводниковой продукции указанного сортамента составляет примерно 200 тонн в год. Оценивая инновационный уровень производимой структуры “С” как наивысшей, целесообразно оценить его соответствующим уровнем 3 (**рис. 1**).

В целом, выбор в качестве объектов анализа вышеперечисленных металлургических предприятий дает возможность осуществить оценку характера влияния составляющих их ресурсного потенциала на конкурентоспособность производимой металлопродукции по показателям качества в максимально широких диапазонах варьирования масштабов деятельности.

Структуризация составляющих ресурсного потенциала металлургических предприятий.

Для определения степени влияния основных видов ресурсов предприятия на показатели его деятельности необходима их рациональная структуризация. В общем виде данные ресурсы понимаются как совокупность финансовых средств, запасов, источников, средств и предметов труда, информационных возможностей, имеющихся в наличии у предприятия, используемых для достижения его целей [8,15]. С этих позиций наилучшей представляется следующая классификация производственных ресурсов, не зависящая от особенностей иерархического строения различных производственных систем, предложенная в [16]:

- технические ресурсы (производственное оборудование, инвентарь, основные и вспомогательные материалы и т.п.);
- технологические ресурсы (используемые технологии, наличие конкурентоспособных идей, научные заделы и др.);
- кадровые ресурсы (квалификационный, демографический состав работников, их способность адаптироваться к изменению целей производственной системы);
- пространственные ресурсы (состояние производственных помещений, их достаточность для достижения целей производственной системы, территория предприятия, коммуникации, возможность расширения и пр.);

- ресурсы системы управления (характер и гибкость управляющей системы, скорость прохождения управляющих воздействий и т.п.);

- информационные ресурсы (полнота располагающей информации о самой производственной системе и внешней среде, возможности оперативности её расширения, повышение достоверности и т.п.);

- финансовые ресурсы (состояние активов, ликвидность, наличие кредитных линий и пр.).

Данную классификацию использовали при структуризации основных составляющих деятельности предприятий “А”, “В”, “С”, включенных в состав ранее разработанных прогностических моделей их развития [14,17,18]. Данные составляющие выделяли в ходе анализа организационного (в том числе иерархического) строения производственных структур, функционала основных подразделений, предваряющего их моделирование. При этом привлекали документацию систем менеджмента качества, включая матрицы ответственности, а также содержание технологических инструкций по реализации действующих технологических процессов. Полученные результаты соотносили с основными положениями прикладного системного анализа и теории организации производственных систем. Результаты указанной структуризации, представленные на **рис. 2**, показали её высокую содержательность. Каждый из выделенных видов ресурсного потенциала при использовании результаты моделирования нашел отображение в виде группы факторов деятельности предприятий, используемых в рамках соответствующих моделей. Поэтому информация о значениях каждого из рассматриваемых видов ресурсного потенциала производственных систем конкретизируется непосредственно по результатам прогностического моделирования развития данных систем. В силу композиционности используемых прогностических моделей [19] в их состав без значительных трудозатрат могут быть включены и другие факторы системы или осуществлено их представление на различных иерархических уровнях. Как альтернатива используемому в данной работе методу качественного моделирования для определения соотношения между различными видами производственных ресурсов может быть использован квалиметрический подход [20-22]. Привлечение последнего метода предоставляет требуемую информацию для актуаль-

ного состояния рассматриваемых производственных систем. Первый же метод генерирует искомые результаты как для актуального, так и для будущих состояний систем, в том числе в рамках многосценарных прогнозов. Выбор одного из двух сравниваемых подходов зависит от особенностей решаемой задачи.

Вычислительные эксперименты по определению влияния ресурсного потенциала металлургических предприятий на уровень качества производимой ими продукции.

Определение долевого влияния составляющих ресурсного потенциала металлургических предприятий инновационной специализации на качество выпускаемой ими продукции осуществляли в следующей последовательности:

1. Осуществляли модернизацию результатов прогностических моделей развития предприятий “А”, “В” и “С”, представленных в [14,17 и 18], путем включения в состав исходных значений основных составляющих их деятельности, зафиксированных в настоящее время.

2. С использованием модернизированных моделей спрогнозировали базовый уровень показателя, характеризующего возможности ресурсного потенциала предприятий в настоящее время, и его динамику в течение 5-летнего периода упреждения.

3. В ходе серии вычислительных экспериментов для рассматриваемых предприятий моделированием установили прирост значений обобщенного показателя качества металлопродукции в течение 5-летнего периода упреждения при поочередном фиксированном увеличении преобразованной к количественному виду экспертной оценки каждой из составляющих деятельности предприятия.

4. Объединили величины частных приростов обобщенного показателя качества продукции, под действием увеличенных и преобразованных к количественному виду экспертных оценок составляющих деятельности предприятий, отнесенных к каждому из видов ресурсного потенциала в соответствии с их классификацией, представленной на **рис. 2**;

5. Преобразовали полученные объединенные приросты обобщенного показателя качества металлопродукции под суммарным увеличенным действием составляющих каждого из видов ресурсного потенциала предприятий к относительной форме (в процентах к итоговому

изменению показателя при действии всего их ресурсного потенциала).

6. Сопоставили относительные приросты обобщенного показателя качества продукции под действием составляющих каждого из видов ресурсного потенциала для рассматриваемых в данной работе металлургических предприятий инновационной специализации (**табл. 1**).

Рассмотрение полученных результатов дает возможность оценить вклад каждого из видов ресурсного потенциала сопоставляемых предприятий на уровень качества их продукции с системных позиций. Определено, что ресурсы, оказывающие на рассматриваемые показатели в условиях различных предприятий максимальное влияние, относятся к разным видам. Так, приросту качества металлопродукции выпускаемой предприятием “А” (инновационность его продукции определена на уровне 1), в наибольшей степени способствует дополнительная поддержка технических и технологических ресурсов. В то же время для производственной структуры “С”, инновационности продукции которого присвоен балл 3, максимально эффективное воздействие по результатам вычислительных экспериментов оказывают организационные и финансовые ресурсы. Легко убедиться (**табл. 1**), что дополнительные возможности управления качеством металлопродукции для предприятия “В”, которой по инновационности присвоен промежуточный ранг 2, в большей степени зависят от направленного повышения уровня организационных и финансовых ресурсов. Однако существенное воздействие на рассматриваемый показатель конкурентоспособности продукции оказывают также технические и технологические ресурсы. Таким образом, выявлено, что изменение степени инновационности продукции предприятий как и объемов её годового производства обуславливает монотонное изменение долевого влияния на качество выпускаемых изделий вышеупомянутых видов ресурсного потенциала. При этом величина максимальных долевого влияния отдельных видов ресурсов на прирост уровня качества продукции достигает значений 25-30% от суммарного воздействия ресурсного потенциала (**табл. 1**).



Рис. 2. Структуризация основных составляющих деятельности металлургических предприятий в составе различных видов их структурного потенциала

Таблица 1
Долевое влияние различных видов ресурсного потенциала различных предприятий инновационной специализации на прирост обобщенного показателя качества производимой ими продукции (по результатам компьютерного моделирования)

Виды ресурсов:	Техни-ческие	Техноло-гические	Кадро-вые	Простран-ственные	Органи-зацион-ные	Инфор-мацион-ные	Финан-совые
Предприятия:	Степень влияния (в %):						
"А"	24.2	29.2	8.5	1.8	13.6	10.9	11.8
"В"	16.1	18.9	9.1	2.1	24.4	6.3	23.1
"С"	8.5	15.7	7.3	1.7	30.5	6.8	29.5

С другой стороны, степень воздействия на рассматриваемый показатель кадровых и пространственных ресурсов практически не зависит от инновационного уровня сравниваемых производственных структур и объемов выпуска продукции. Как показали результаты вычислительных экспериментов, долевое

влияние кадрового потенциала на качество продукции предприятий "А", "В" и "С" изменяется в узких интервалах: от 7,3 до 9,1%. Варьирование имеющихся пространственных ресурсов практически не приводит к изменению экспертных оценок уровня рассматриваемого в работе обобщенного показателя (2,1% –

1,7%). Однако здесь следует отметить, что каждое из рассмотренных предприятий – производителей инновационной продукции и в настоящее время располагает достаточными ресурсами данного вида для достижения основных целей.

Еще одной особенностью реализованного компьютерного исследования оказалась значимая зависимость степени влияния на прирост рассматриваемого показателя приоритетного развития информационных ресурсов. Расчеты показали, что в условиях крупномасштабного предприятия (“А”), производящего миллионы тонн металлопродукции широкого профильного и марочного сортамента, значимость указанных ресурсов для достижения более высокого уровня ее качества выше, чем для производств узкой специализации (производственные структуры “В” и “С”). Для первого из них долевое влияние информационных ресурсов на обобщенный показатель качества металлопродукции составило 10,9%, а для вторых – 6,3...6,8% от суммарного воздействия ресурсного потенциала предприятий.

Информация, представленная в данной работе, направлена на практическое применение в системах менеджмента качества предприятий, их риск – менеджменте, стратегическом планировании производственных компаний.

Заключение

Единая методическая база (метод качественного моделирования на основе аппарата взвешенных ориентированных графов) обеспечила возможность сопоставления результатов прогностического моделирования трудносопоставимых разномасштабных производственных структур инновационной специализации. Получено, что направленная дифференцированная поддержка различных видов ресурсного потенциала является для металлургических предприятий эффективным средством реализации дополнительных резервов повышения уровня качества инновационной продукции. Изложенный подход может оказаться перспективным при выявлении закономерностей развития сложных организационно-технических и экономических систем на основе анализа особенностей проявления в ходе сопоставления группы таких систем.

Список литературы

1. Бизнес-риски в горнодобывающей и металлургической отраслях: исследование за 2015-2016 годы. Время действовать // Отчет компании «Эрнст энд Янг». 2015. 52с.

2. Прогноз экономического развития России в 2015-2018 годах / ВЭБ [Электронный ресурс]. 2015. Режим доступа:

<http://www.veb.ru/common/upload/files/veb/analytics/macro/progn15-18.pdf>

1. Новицкий Н.А. Инновационная экономика России: Теоретико-методические основы и стратегические приоритеты. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ». 2009. 328с.

2. Инновационная экономика. Под ред. А.А. Дынкина, Н.И. Ивановой. 2-е изд., исправленное и дополненное. М.: Наука. 2004. 352с.

3. Чистова В.А. Управление инновационным развитием предприятий в контексте обеспечения их конкурентоспособности в нестабильных экономических условиях // Вестник ЮРГТУ (НПИ). 2014. №1. С.122-126.

4. Бринза В.В., Германова А.В., Кузнецов И.С. Альтернативы посткризисного развития металлургических предприятий: прогнозирование последствий // Экономика в промышленности. 2010. №3. С.10-19.

5. Клейман А.В. Классификация ресурсов современного предприятия // Сборник научных трудов «региональная направленность развития современной экономики. Школа – семинар профессора А.А. Голикова». Челябинск: ЧелГУ. 2005. С.164-170.

6. Окорочкова Л.Г. Ресурсный потенциал предприятий. СПб.: СПбГТУ. 2001. 293с.

7. Окольнишникова И.Ю., Шевров В.Ю. Ресурсный потенциал и стратегия развития конкретных преимуществ предпринимательской структуры // Современные исследования социальных проблем (электронный научный журнал). 2013. №2 (22) // [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.sisp.nkras.ru

8. Материалы доклада по особенностям инновационного поведения компаний в период кризиса и оценок возможных мер стимулирования инноваций в посткризисный период / МАУ [Электронный ресурс]. 2009. Режим доступа <http://www.iacenter.ru/publication-files/78/55.pdf>

9. Юрьев А.Б. 50 лет ЕВРАЗ ЗСМК: Стальная слава ЗАПСИБА // Сталь. 2014. №7. С. 3-6.

10. Юрьев А.Б., Бринза В.В., Кузнецов И.С. Компьютерный анализ и оптимизация технологии производства проката // Сталь. 2004. №5. С.56-59.

11. Рождественский В.В., Бринза В.В., Котрехов В.В. Оптимизация последовательности этапов реконструкции многостадийного производства // Цветные металлы. 2007. №10. С.14-23.

12. Бринза В.В., Шляхов М.Ю., Зернов С.М., Лыткин Н.А., Абрамушин К.М. Первое в России промышленное производство сверхпроводящих материалов: прогнозирование потенциала развития // Экономика в промышленности. 2011. №4. С.33-47.

13. Ресурсный потенциал экономического роста / Под ред. М.А. Комарова, А.Н. Романова. М.: Путь России. 2002. 567с.

14. Экономическая стратегия фирмы / Под ред. А.П. Градова. 4-е Изд., перераб. СПб.: Специальная литература. 2003. 959с.

15. Бринза В.В., Коровин А.В., Лосицкий А.Ф., Рождественский В.В., Филиппов В.Б. Технический комплекс металлургического завода: моделирование перспектив развития // Национальная металлургия. 2003. №1. С.87-94.

16. Бринза В.В., Юрьев А.Б., Коровин А.В., Кузнецов И.С. Прогнозирование результатов технического перевооружения металлургических предприятий // Национальная металлургия. 2002. №4. С.46-56

17. Бринза В.В. Менеджмент качества металлургической компании как объект прогностическо-

го моделирования // Качество в обработке материалов. 2014. №1. С.9-20

18. Гун Г.С. Управление качеством высокоточных профилей. М.: Металлургия. 1984. 152с.

19. Рубин Г.Ш., Чукин М.В., Гун Г.С., Гун И.Г. Развитие квалиметрии метизного производства // Инновационные процессы обработки металлов давлением: Сб. докл. международной научно-технической конференции. М.: НИТУ «МИСиС». 2011. С.320-325.

20. Корчунов А.Г., Чукин М.В., Гун Г.С., Полякова М.А. Управление качеством продукции в технологиях метизного производства. / М.: Издательский дом «Руда и металлы». 2012. 164с.

УДК 658.56

Атрошенко С.А., Грибанов Д.А.

ПРОЦЕССНЫЙ ПОДХОД ПРИ ОЦЕНКЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИМПУЛЬСНОМУ РАЗРУШЕНИЮ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. Определены основные квалиметрические показатели металлических материалов испытанных при коротком времени нагружения ($T = 1$ мкс) с помощью высокоскоростного расширения магнитно-импульсным методом. Предложена методика квалиметрической оценки сопротивления разрушению металлических материалов, испытанных магнитно-импульсным методом.

Ключевые слова: оценка качества; магнитно-импульсный метод растяжения; кольцевые образцы; диаграмма сравнения показателей качества, планирование эксперимента

В ряде областей новой техники выбор материала для изделий и элементов конструкций в виде труб, эксплуатация которых предполагается в условиях возникновения импульсных нагрузок, должен быть рациональным, обоснованным с точки зрения формирования необходимых эксплуатационных характеристик изделий. В связи с этим объективное определение рационального уровня характеристик применяемых материалов является важной, актуальной задачей, способной повысить рентабельность производственных процессов, экономики предприятия, региона и страны в целом. Для решения поставленной задачи использовались методы статистического анализа информации, квалиметрические инструменты оценки качества объектов, экспериментальные методы исследования металлических материалов. Предложена методика квалиметрической оценки сопротивления разрушению металли-

ческих материалов, эксплуатируемых в условиях возникновения ударного воздействия. В ней предложено увеличить число показателей качества по сравнению с традиционно используемыми, в данных условиях эксплуатации изделий. Предлагаемый способ исследования материалов путем испытания кольцевых образцов на магнитно-импульсной установке в комплексе с инструментами квалиметрической оценки (в отличие от экспертных) увеличивает объективность оценки, позволяет смоделировать дорогостоящие натурные испытания деталей и дает положительный экономический эффект.

Методика магнитно-импульсного нагружения. Магнитно-импульсное нагружение кольцевых образцов проводилось по методике, описанной в работе [2].

Методика квалиметрической оценки. Разработанная методика проведения оценки

сопротивления разрушению металлических материалов реализована трехуровневый алго-

ритмом с применением процессного подхода (рис. 1).

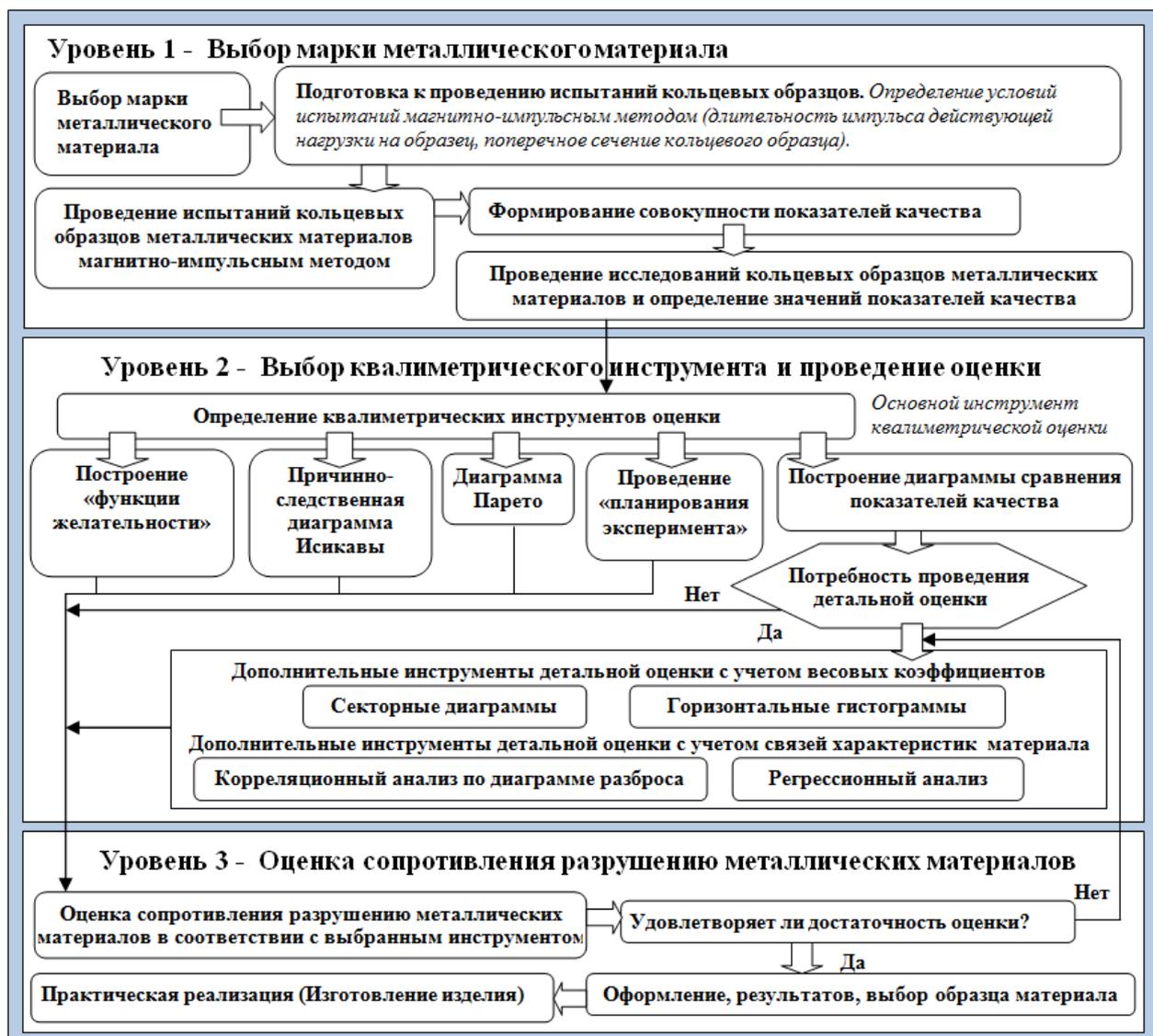


Рис 1. Методика проведения квалиметрической оценки сопротивления разрушению металлических материалов, испытанных магнитно-импульсным методом

При анализе процесса организации оценки качественных характеристик кольцевых образцов получено следующее разделение её на процессы и подпроцессы:

Процесс I. Выбор марки металлического материала (вход (ВХ) - требования нормативных документов и заказчика, выход (В) - фактические характеристики металлического материала);

Подпроцесс:

а) подготовка кольцевых образцов к испытаниям (ВХ - нормы по технологическому процессу изделия, В - условия испытаний маг-

нитно-импульсным методом (длительность импульса действующей нагрузки на образец, поперечное сечение кольцевого образца));

б) проведение испытаний кольцевых образцов металлических материалов магнитно-импульсным методом;

в) формирование совокупности показателей качества, по которым будет произведена квалиметрическая оценка (твёрдость, растягивающее напряжение, количество вязкой составляющей в изломе, время до разрушения, размер зерна, количество пор);

г) проведение исследований кольцевых образцов металлических материалов и определение значений показателей качества.

Поверхности разрушения алюминиевых образцов в виде колец после испытаний исследовались на оптическом микроскопе Axio-Observer-Z1-M в темном поле. Количество вязкой составляющей в изломе (V , %) определялось по формуле, приведенной в ГОСТ 30456-97 [1]. Площадь хрупкой составляющей определялась измерением площади хрупкого излома по фотографии. Микротвердость определялась на микротвердомере SHIMADZU серии HMV-G по методу восстановленного отпечатка четырехгранной алмазной пирамиды с углом 136° между гранями и квадратным основанием (по методу Виккерса).

Процесс II. Определение квалиметрических инструментов оценки (BX – в зависимости от цели оценки качества изделий предложены следующие основные инструменты квалиметрической оценки – диаграмма сравнения показателей качества, функция желательности, планирование эксперимента, причинно-следственная диаграмма Исикавы, диаграмма Парето. В случае необходимости проведения более детальной оценки, предложены дополнительные инструменты оценки с учетом весовых коэффициентов – секторные диаграммы, горизонтальные гистограммы, а также дополнительные инструменты детальной оценки с учетом связей свойств металлических материалов – корреляционный анализ по диаграмме разброса и регрессионный анализ, B – инструмент квалиметрической оценки).

Процесс III. Оценка сопротивления разрушению и анализ металлических материалов (BX – значения показателей сопротивления разрушению металлических материалов, B – наиболее подходящий металлический материал для изделия, эксплуатация которого предполагается в условиях возникновения ударного воздействия).

Современные квалиметрические инструменты качества адаптированы к задаче оценивания сопротивления разрушению металлических материалов, эксплуатация которых предполагается в условиях возникновения ударного воздействия, а именно: функции желательности Харрингтона, диаграммы сравнения показателей качества, планирования эксперимента, корреляционного анализа по диаграмме разброса, секторных диаграмм, горизонтальных гистограмм, регрессионного анализа. Так, например, проведена оценка качест-

венных характеристик кольцевых образцов с помощью планирования эксперимента.

При планировании в соответствии с методикой [3], был реализован полный двухфакторный эксперимент. Параметром оптимизации являлось время до разрушения алюминиевого образца, факторами оптимизации были выбраны длительность импульса и площадь поперечного сечения образца. Исходные данные для планирования эксперимента приведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные для планирования эксперимента

№ п/п	Длительность импульса T , мкс	Площадь поперечного сечения S , мм ²	Время до разрушения t , мкс
1	7,5	0,12	13,4
2	7,5	0,15	13,4
3	1,0	0,042	2,65
4	1,0	0,023	4,17

В выбранной линейной модели, для построения аппроксимирующей функции:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (1)$$

где y – критерий оптимизации, величина которого контролируется в ходе эксперимента; x_1, x_2, \dots, x_k – факторы, которые решено варьировать при проведении эксперимента, которая строится в виде полинома:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 \quad (2)$$

где b_0, b_1, b_2 – коэффициенты регрессии функции отклика, определены основной уровень x_0 по формуле (3) и интервал варьирования I по формуле (4) управляющего параметра x_i .

$$x_0 = \frac{x_{\max} + x_{\min}}{2} \quad (3)$$

где x_{\max} – верхний уровень фактора; x_{\min} – нижний уровень фактора;

$$I = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2} \quad (4)$$

Для упрощения планирования эксперимента, кодирование реальных (натуральных)

уровней x_i значений факторов проведено с помощью следующего преобразования:

$$x_j = \frac{x_i - x_0}{I_j}, \quad (5)$$

где x_i – натуральное значение фактора; I_j – интервал варьирования; x_0 – основной уровень; x_j – кодированное значение.

В результате x_j принимает значения на границах $x_j = \pm 1$, на основном уровне $x_j = 0$.

По значениям факторов оптимизации (основной уровень (x_0), интервал варьирования (I_j), верхний уровень (x_{max}), нижний уровень (x_{min})) для проведенных экспериментов строится матрица планирования экспериментов.

Коэффициенты регрессии функции отклика рассчитаны по формуле:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_j y_u}{N}, \quad (6)$$

где y_u – параметр состояния в u -том опыте; N – общее число опытов.

В табл. 2 приведены значения факторов оптимизации для проведенных экспериментов.

$$b_0 = \frac{(+1) \cdot 13,4 + (+1) \cdot 13,4 + (+1) \cdot 2,65 + (+1) \cdot 4,17}{4} = 8,405$$

$$b_1 = \frac{(+1) \cdot 13,4 + (+1) \cdot 13,4 + (-1) \cdot 2,65 + (-1) \cdot 4,17}{4} = 4,995$$

$$b_2 = \frac{(+0,53) \cdot 13,4 + (+1) \cdot 13,4 + (-0,70) \cdot 2,65 + (-1) \cdot 4,17}{4} = 3,619$$

Уравнение регрессии, рассчитанное по формуле (2), имеет следующий вид:

$$y = 8,405 + 4,995x_1 + 3,619x_2$$

Таким образом, достижение максимальных значений времени до разрушения алюминиевого образца возможно при приближении значений факторов к верхнему уровню выбранного интервала варьирования.

Таблица 2

Условия проведения опытов

Факторы	Длительность импульса T , мкс	Площадь поперечного сечения S , мм ²
Код	x_1	x_2
Основной уровень (x_0)	4,25	0,0865
Интервал варьирования (I_j)	3,25	0,0635
Верхний уровень (x_{max})	7,5	0,15
Нижний уровень (x_{min})	1,0	0,023

В табл. 3 приведена матрица планирования экспериментов.

Таблица 3

Матрица планирования экспериментов

Номер опыта	Факторы (x_j)			Время до разрушения t , мкс
	x_0	x_1	x_2	
1	+1	+1	+0,53	13,4
2	+1	+1	+1	13,4
3	+1	-1	-0,70	2,65
4	+1	-1	-1	4,17

Коэффициенты регрессии функции отклика рассчитанные по формуле (6) приведены ниже.

По результатам проведенного планирования эксперимента можно сделать следующие выводы:

- значения времени до разрушения алюминиевого образца возрастают при повышении длительности импульса и увеличении площади поперечного сечения образца в выбранных интервалах варьирования;

- сопоставление коэффициентов регрессии при соответствующих факторах показывает, что наибольшее влияние в проведенных экспериментах имеет длительность импульса.

Проведена оценка качественных характеристик кольцевых образцов с помощью диаграммы сравнения показателей качества. Дифференциальным методом определяется, соответствует ли качество оцениваемого образца качеству базового образца в целом, и какие показатели свойств оцениваемого образца превосходят или не соответствуют показателям базового образца, а также, на сколько, отличаются аналогичные показатели свойств. При этом учитываются наиболее значимые свойства объекта и условно считаются как равнозначимые.

В соответствии с методом оценки [4], рассчитаны отдельные относительные показатели уровня качества оцениваемой продукции q_i по прямой формуле (7) и обратной (8):

$$q_i = \frac{P_{i\text{баз}}}{P_{i\text{оц}}}, \quad (7)$$

$$q_i = \frac{P_{i\text{оц}}}{P_{i\text{баз}}} \quad (8)$$

где q_i – относительный показатель качества, оцениваемый по i -му свойству; $P_{i\text{баз}}$ – значение i -го показателя базового образца; $P_{i\text{оц}}$ – значе-

ние i -го единичного показателя свойства оцениваемой продукции.

Прямая формула (7) применялась для расчета относительных показателей качества, когда повышение качества образца характеризуется уменьшением показателей – размер зерна. Обратная формула (8) применялась для расчета относительных показателей, когда повышение качества характеризуется увеличением показателей – твердость, количество вязкой составляющей в изломе.

Количественно величины итоговых показателей качества образцов, т.е. уровень качества (Y_k) рассчитаны как средние арифметические значения всех уровней учитываемых свойств (q_i), сопоставляемых (оцениваемого и базового) образцов по формуле:

$$Y_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i \cdot \quad (9)$$

Приведено описание результатов экспериментальных исследований алюминиевых кольцевых образцов, испытанных магнитно-импульсным методом, характеристики сопротивления разрушению которых приведены в **табл. 4**. В **табл. 5** приведены результаты расчетов уровней качеств алюминиевых образцов.

Таблица 4

Значения показателей качества кольцевых образцов

№ п/п	Наименование показателя качества	Базовые значения №1	Значение показателя качества образца			
			№2	№3	№4	№5
		при испытании с длительностью импульса T , мкс				
		38	7,5	5,5	7,5	1
1.	Размер зерна D_z , мкм	4,6	8,2	0,45	1,2	3
2.	Твердость по Виккерсу HV , МПа	1175	1461	992	1098	1202
3.	Количество вязкой составляющей в изломе B , %	80	98,2	92,3	96,5	91,5

Таблица 5

Оценки уровней качеств алюминиевых образцов

№ п/п	Наименование показателя качества	Обозначение, q_i	Относительное значение показателя качества образца				
			№1	№2	№3	№4	№5
			при испытании с длительностью импульса T , мкс				
			38	7,5	5,5	7,5	1
1.	Размер зерна	q_1	1	0,56	10,22	3,83	1,53
2.	Твердость по Виккерсу	q_2	1	1,24	0,84	0,93	1,02
3.	Количество вязкой составляющей в изломе	q_3	1	1,23	1,15	1,21	1,14
Уровень качества образца		Y_{ki}	1	1,01	4,07	1,99	1,23

Для более точной и информативной оценки технического уровня, характеризующего качество образцов, построена диаграмма сравнения показателей качества (рис. 2), на которой наглядно видно, по какому показателю следует принимать управленческие и технические решения.

При анализе диаграммы сравнения показателей качества (рис. 2) и на основе итоговых значений показателей качества для образцов, испытанных по разным режимам, можно сделать следующие выводы:

- в материале образца, испытанного по режиму №3, наблюдается улучшение по всем показателям, за исключением параметра «Твердость по Виккерсу»;

- площадь многоугольника, занимаемая показателями режима №3 значительно больше площади многоугольников, занимаемых показателями режимов №1, №2, №4 и №5 что свидетельствует о превосходстве режима №3;

- при существенно более коротком импульсе ударного воздействия (режим №3) об-

разец имеет максимальное значение $Y_{к3} = 4,07$, по сравнению с $Y_{к2} = 1,01$, $Y_{к4} = 1,99$, $Y_{к5} = 1,23$, что указывает на преимущество использования этого режима для проведения испытаний кольцевых материалов.

Список литературы

1. ГОСТ 30456-97 Металлопродукция. Прокат листовой и трубы стальные. Методы испытания на ударный изгиб.

2. Морозов В.А., Петров Ю.В., Лукин А.А., Атрошенко С.А., Грибанов Д.А. Разрыв металлических колец при ударном нагружении магнитно-импульсным методом // Журнал технической физики. – 2014. – №9. – С. 78–85.

3. Новик, Ф.С., Арсов, Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф.С. Новик, Я.Б. Арсов. – М.: Машиностроение, София, Техника, 1980. – 304 с.

4. Федюкин В.К. Квалиметрия: учебное пособие. – СПб.: СПбГИЭУ, 2009. – 365 с.



Рис. 2. Диаграмма сравнения показателей качества

УДК 621.771

Кривцова О.Н., Гун Г.С., Кузьминова Н.Ю., Панин Е.А., Насонов А.И.

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА АРМАТУРНОГО ПРОКАТА, ПРОИЗВОДИМОГО В УСЛОВИЯХ АО «АМТ»

Аннотация. В статье приведен квалиметрическая оценка качества арматурного проката, производимого в условиях СПЦ АО «АрселорМиттал Темиртау». Выявлено, что качество механических свойств не самым решающим образом зависит от качества химического состава; существенное влияние на качество оказывают также технологические параметры.

Ключевые слова: сортовой прокат, арматурный профиль, качество металлопродукции, квалиметрия, комплексная оценка качества.

Введение. Сортовой прокат характеризуется множеством показателей качества, каждый из которых может служить критерием для выбора параметров технологического процесса, хотя математически правильная постановка задачи оптимизации требует наличия одного критерия. Совершенствование технологического процесса прокатки, заключающегося в выборе оптимальных параметров, предполагает наличие взаимосвязи их с некоторым комплексным критерием K_0 , учитывающим группу показателей качества. Для определения этой зависимости необходимо решить задачу приведения показателей качества проката (в соответствии со стандартом) к комплексному критерию K_0 и установить взаимосвязь комплексного критерия с параметрами технологии по экспериментальными данным или теоретическим формулам.

Суммируя требования, предъявляемые в настоящее время к качеству сортового проката, можно на основании методов квалиметрии построить иерархическую совокупность свойств [1]. Используем для этого табличную форму дерева свойств, рекомендуемую [2].

В данной работе ставилась задача однозначно и комплексно оценить качество арматурного профиля единым числовым показателем с учетом всех его свойств, производимого на непрерывном 16-ти клетевом сортовом стане 320 в СПЦ АО «АрселорМиттал Темиртау». Квалиметрическое исследование качества арматурного проката периодического профиля проводили, собрав опытные образцы арматурного проката из сталей марок 35ГС, 25Г2С и Ст5пс диаметрами от 10 до 32 мм в период с июля по август 2014 года.

Методы исследования. Для комплексной оценки качества арматурного проката использованы данные сдаточных испытаний 169 периодических профилей. В соответствии с материалами [3], выполнили разбиение на три кластера (мелкие, средние и крупные профили) следующим образом: $\varnothing 10-16$ мм, $\varnothing 18-22$ мм и $\varnothing 25-32$ мм. Учитывая абсолютное большинство мелких профилей в генеральной совокупности, разделили группу мелких профилей еще на 2 части: $\varnothing 10-12$ мм и $\varnothing 14-16$ мм. (табл. 1), получив окончательно 4 выборки.

Таблица 1
Выборки, отсортированные по размерам профиля

Группа профилей	10-12	14-16	18-22	25-32
Объем выборки	60	54	30	25

В качестве показателей, характеризующих качество арматурного проката выбраны: химический состав металла по содержанию основных элементов – углерода (С, %), марганца (Mn, %), кремния (Si, %), хрома (Cr, %), никеля (Ni, %), меди (Cu, %), алюминия (Al, %), содержание вредных примесей азота (N, %), серы (S, %) и фосфора (P, %), а также показатели важнейших механических свойств – предел текучести (σ_T , МПа), предел прочности (σ_B , МПа), относительное удлинение (δ_s , %). Химический состав и свойства стали проверялись на основании Меморандума о сотрудничестве совместно с ЦЗЛ АО «АМТ» на соответствие требованиям ГОСТ 5781-82 и ГОСТ 10884-94. Исследуемые марки сталей широко используют на АО «АрселорМиттал Темир-

тау» для производства арматурного проката периодического профиля.

В соответствии с рекомендациями [4, 5] в табличной форме сформировали дерево свойств арматурного проката периодического профиля. Значения коэффициентов весомостей α_{ij} определялись на основе рекомендаций различных литературных источников с согласованием работников ЦЗЛ АО «АМТ».

Для расчета дифференциальных оценок качества по [2] использовали требования ГОСТ 5781-82 в качестве r_{ij}^{\min} и r_{ij}^{\max} (табл.2 и 3).

Т.о., с использованием указанных данных на всех уровнях дерева свойств определили дифференциальные оценки качества арматурного проката периодического профиля из стали марки 35ГС для четырех размерных групп. Оценка на нулевом уровне является

итоговым комплексным показателем качества группы данных номеров профилей.

Таблица 2
Требования ГОСТ5781-82
к массовой доле элементов стали 35ГС,
содержание в %

C	Mn	Si	Al	Cr	Ni	S	P	Cu
0,30-0,37	0,80-1,20	0,60-0,90	0,001-0,015	не более				
				0,30	0,30	0,045	0,040	0,30

Результаты исследования и их обсуждение. Для удобства сопоставления результатов, полученных при анализе разных размерных групп проката, все показатели качества представили на одной столбчатой диаграмме (рис. 1).

Требования ГОСТ5781-82 к механическим свойствам
горячекатаной арматуры

Таблица 3

Класс арматурной стали	Диаметр профиля, мм	Марка стали	Предел текучести, σ_T , МПа	Временное сопротивление разрыву, σ_B , МПа	Относительное удлинение, δ_s , %
А-III (А400)	6–40	35ГС 25Г2С 32Г2Рпс	390	590	14

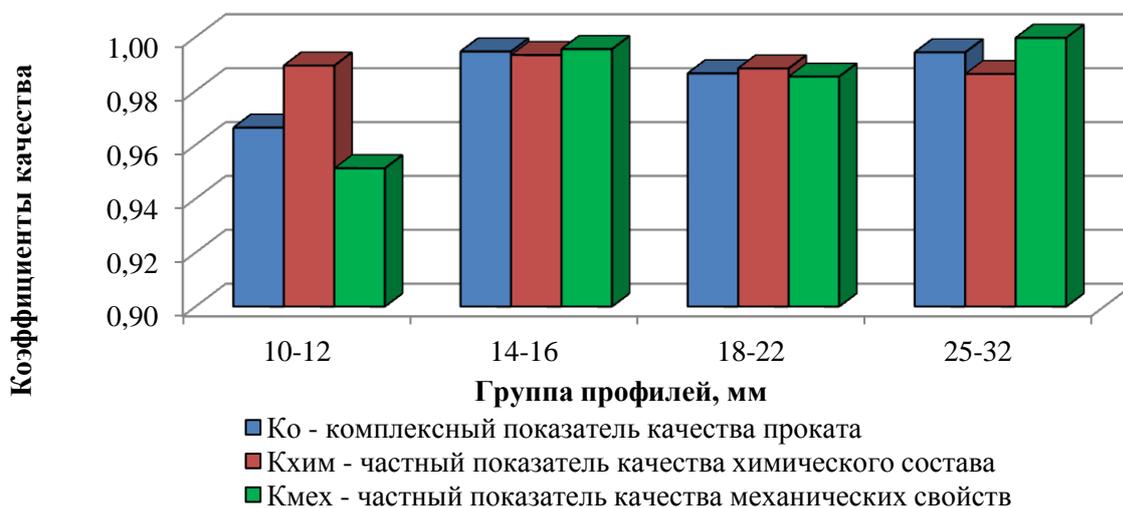


Рис.1. Показатели качества групп проката из стали марки 35ГС

Как видно из рис. 1 у арматурного проката из стали марки 35ГС качество механических свойств не напрямую зависит от качества химического состава. Например, самый низкий показатель “ $K_{хим}$ ” соответствует самому высокому значению “ $K_{мех}$ ” в группе крупных профилей $\varnothing 25-32$ мм, в то время как в группе мелких профилей $\varnothing 10-12$ мм очень низкое значе-

ние “ $K_{мех}$ ” соответствует второму по величине показателю “ $K_{хим}$ ”. Самое низкое комплексное качество имеет группа мелких профилей с номерами 10 и 12 мм. Для того чтобы выяснить, как складывается качество группы, по этой же методике рассчитали качество проката каждого номера профиля в отдельности (рис. 2).



Рис. 2. Показатели качества отдельных профилей проката из стали марки 35ГС

Из рис. 2 видно, что наиболее стабильным, имеющим минимальный разброс значений, является качество химического состава стали. В то время как качество механических свойств разных номеров профилей заметно различается. При этом профиль номер 14 имеет самое равномерное качество, его показатели имеют близкое значение.

Низкое качество первой размерной группы профилей объясняется тем, что и 10 и 12 номера имеют самые плохие показатели по механическим свойствам при сравнительно хорошем химическом составе стали. У профилей номеров 22 и 28 наблюдается обратная ситуация: чем хуже химический состав стали, тем лучше показатели механических свойств.

Возникшее противоречие можно объяснить влиянием на механические свойства проката не столько химического состава стали, сколько соблюдение норм технологического процесса изготовления проката.

Полученные результаты согласуются с материалами [6]. Можно сделать вывод о необходимости включения в расчет оценки качества и технологические параметры, например, температуру самоотпуска металла на холодильнике и скорость конца прокатки в последней клети.

С учетом вышесказанного провели оценку качества арматурного проката из низколегированной марки стали 25Г2С. В табличной форме сформировали дерево свойств арматурного проката периодического профиля.

Для расчета дифференциальных оценок качества также использовали требования стандартов ГОСТ 5781-82 и ГОСТ 10884-94 в качестве граничных условий r_{ij}^{\min} и r_{ij}^{\max} (табл. 4, 5).

**Таблица 4
Требования ГОСТ 5781-82 к массовой доле элементов в стали 25Г2С, содержание в %**

С	Mn	Si	Сэкр	S	P
0,20-0,29	1,20-1,60	0,60-0,90	не менее	не более	
			0,4	0,045	0,045

В качестве граничных условий значений технологического параметра (температура самоотпуска) использованы рекомендации производственной Технологической инструкции, а именно $r_{2.10}^{\min} = 540^{\circ}\text{C}$ и $r_{2.10}^{\max} = 620^{\circ}\text{C}$.

**Таблица 5
Требования ГОСТ 10884-94 к механическим свойствам горячекатаной термически упрочненной арматуры**

Класс арматурной стали	Диаметр профиля, мм	Марка стали	Предел текучести, σ_t , МПа	Временное сопротивление разрыву, σ_b , МПа	Относительное удлинение, δ_s , %
Ат600 Ат600С (Ат-IV)	10-40	20ГС, 25Г2С 35ГС	600	800*	12*

* Согласно примечания к табл. 4 ГОСТ 10884-94 для арматурной стали класса Ат600С допускается снижение временного сопротивления разрыву на 50 Н/мм² ниже норм, установленных таблицей, при увеличении относительного удлинения δ_s на 2 % (абс.).

Окончательно приняв граничные условия $r_{2.12}^{\min}=750$ МПа и $r_{2.13}^{\min}=14\%$, по полученным данным выполнили расчет дифференциальных и комплексной оценки качества проката из стали марки 25Г2С.

Для удобства сопоставления результатов представили полученные данные в виде столбчатой диаграммы (рис. 3).

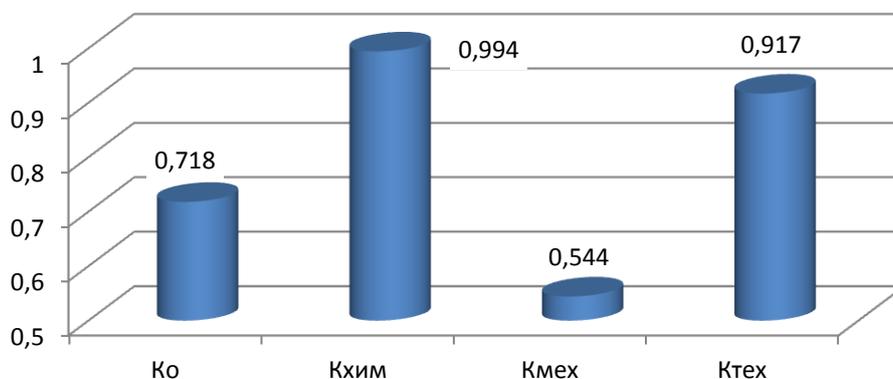


Рис. 3. Показатели качества проката из стали марки 25Г2С

Данные рис. 3 наглядно показывают 55% расхождение в значениях показателей качества химического состава и уровня механических свойств, при хорошем значении качества технологического параметра, что сильно снизило комплексный показатель в целом.

Аналогичным образом проведена оценка качества арматурного проката из углеродистой марки стали Ст5пс. В табличной форме сформировали дерево свойств арматурного проката периодического профиля (табл. 6).

Таблица 6

Иерархическая совокупность свойств проката из стали Ст5пс

$i = 0$	$i = 1$	$i = 2$
Качество арматурного проката – K_0	Химический анализ $k_{1.1}$; $\alpha = 0,2$	Содержание углерода (C, %) $r_{2.1}$; $\alpha = 0,2$
		Содержание марганца (Mn, %) $r_{2.2}$; $\alpha = 0,15$
		Содержание кремния (Si, %) $r_{2.3}$; $\alpha = 0,2$
		Величина углеродного эквивалента (Сэкв) $r_{2.4}$; $\alpha = 0,25$
	Механические свойства $k_{1.2}$; $\alpha = 0,5$	Физический предел текучести (σ_T , МПа) $r_{2.5}$; $\alpha = 0,4$
		Временное сопротивление (σ_B , МПа) $r_{2.6}$; $\alpha = 0,3$
		Относительное остаточное удлинение (δ_5 , %) $r_{2.7}$; $\alpha = 0,3$
	Параметры технологии $k_{1.3}$; $\alpha = 0,3$	Температура самоотпуска $r_{2.8}$; $\alpha = 0,3$
		Скорость в последней клетке $r_{2.9}$; $\alpha = 0,35$
		Расход воды (общий) $r_{2.10}$; $\alpha = 0,35$

Используя требования стандартов ГОСТ 380-2005 и ГОСТ 10884-94, а также технологической инструкции ТИ 01-2014 в качестве граничных условий r_{ij}^{\min} и r_{ij}^{\max} (табл. 7–9), рассчитали дифференциальные оценки качества.

Согласно п.5.3 ГОСТ 10884-94 для свариваемой арматурной стали класса прочности Ат500С углеродный эквивалент должен быть

не менее 0,40%, тогда $r_{2.1}^{\min} = 0,40\%$ и $r_{2.4}^{\max} = 0,50\%$.

Таблица 7

Требования ГОСТ 380-2005 к массовой доле элементов в стали 25Г2С, содержание в %

C	Mn	Si
0,20-0,29	1,20-1,60	0,60-0,90

Таблица 8

Требования ГОСТ 10884-94 к механическим свойствам горячекатаной термически упрочненной арматуры

Класс арматурной стали	Диаметр профиля, мм	Марка стали	Предел текучести, σ_T , МПа	Временное сопротивление разрыву, σ_B , МПа	Относительное удлинение, δ_s , %
Ат500С	6–40	Ст5сп Ст5пс	500	600	14

Таблица 9

Требования ТИ 01-2014 к первоначальной настройке системы термического упрочнения арматурного проката

Марка стали	Диаметр, мм	Скорость прокатки, м/с	Класс арматуры	Расход воды, м ³ /ч	Температура самоотпуска (°С) при углеродном эквиваленте, %	
					0,42 – 0,46%	0,47 – 0,51%
Ст5сп Ст5пс	16	7,7	Ат500С	270	570-600	
		8,4		310-370	560-580	560-580

С использованием указанных данных на всех уровнях дерева свойств определили дифференциальные оценки качества термически упрочненного арматурного проката периодического профиля из стали марки Ст5пс.

Для удобства сопоставления результатов представим полученные данные в виде столбчатой диаграммы (рис. 4).

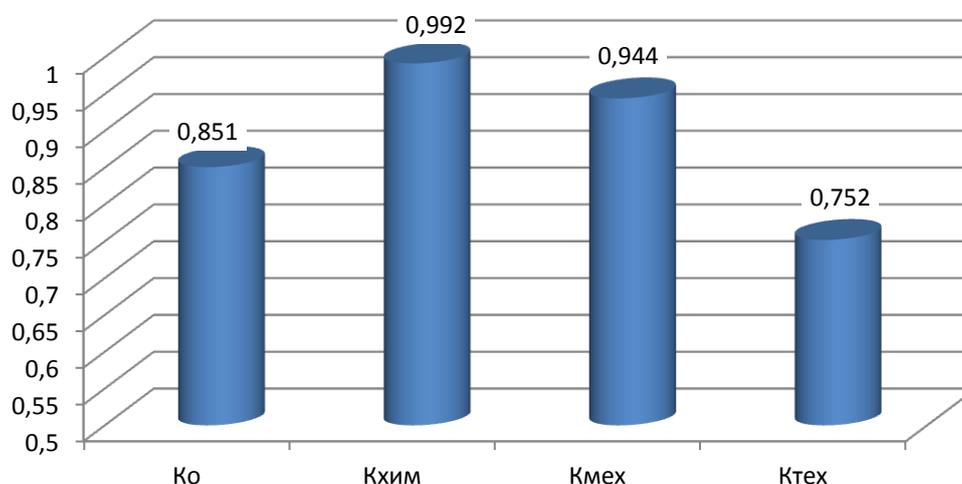


Рис. 4. Показатели качества проката из стали марки Ст5пс

Как видно из материалов рис. 4 качество арматурного проката по механическим свойствам находится на достаточно высоком уровне.

Выводы. Квалиметрическая оценка качества арматурного проката, производимого в условиях СПЦ АО «АрселорМиттал Темиртау» показала, что качество механических свойств не решающим образом зависит от качества химического состава. Существенное

влияние на качество оказывают также технологические параметры.

Список литературы

1. Найзабеков А.Б., Галмазан В.А., Шмидт Н.Ю. Квалиметрия в обработке металлов давлением. – Темиртау, 2002 – 101 с
2. Жадан В.Т., Маневич В.А. Совершенствование технологии прокатки на основе комплексных критериев качества. – М.: Металлургия, 1989 – 96с.
3. O. Krivtsova, A. Root, G. Sivyakova, N.

Kuzminova, E. Panin. Rational form of pre-calibers at rolling of reinforcing steel // Archives of materials science and engineering, March 2014 Vols.66. pp. 39-44.

4. Кривцова О.Н., Панин Е.А., Кузьминова Н.Ю., Насонов А.И. Оценка качества арматурной стали СПЦ АО «АМТ» // Современная металлургия начала нового тысячелетия. К 80-летию НЛМК: сб. науч. тр. МНПК. 2014. Ч.2 – С.26-33.

5. Кривцова О.Н., Сейсембинов Т.С., Найзабеков А.Б., Насонов А.И. Quality of Reinforcing Steel of JSC "Arselor Mittal Temirtau" // 5th International conference on Frontiers of Manufacturing and Design Science (ICFMD 2014), Hong Kong. – p.62.

6. Кривцова О.Н., Талмазан В.А., Кузьминова Н.Ю., Широкова Е.В. Оценка влияния химического состава на механические свойства арматурного проката из стали марки 35ГС // XVI МНК «Новые технологии и достижения в металлургии и инженерии материалов и процессов», 2015. С. 182-185.

7. Чукин М.В., Корчунов А.Г., Бакшинов В.А., Барышников М.П., Гун Г.С., Долгий Д.К., Ефимова Ю.Ю., Колокольцев В.М., Копцева Н.В., Куранов К.Ю., Лебедев В.Н., Мезин И.Ю., Полякова М.А., Чукин В.В. Производство высокопрочной стальной арматуры для железобетонных шпал нового поколения. / Под общей редакцией М.В. Чукина, М.: Металлургиздат, 2014. -276 с.

8. Закиров Д.М., Осипов Д.С., Гун И.Г., Сабадаш А.В., Овчинников С.В., Майстрено В.В., Мезин И.Ю. Применение логики антонимов для комплексного анализа качества автомобильного крепежа. Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. №4. С.57-62.

9. Гун И.Г. Квалиметрическая оценка и повышение результативности сквозной технологии и системы менеджмента качества производства шаровых пальцев: монография / Гун И.Г., Михайловский И.А., Осипов Д.С. Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», Магнитогорск, 2008.

10. Гун И.Г. Комплексная оценка эффективности процессов производства шаровых пальцев: монография / И.Г. Гун, Г.Ш. Рубин, В.В. Сальников и др. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. 133 с.

11. Гун И.Г., Михайловский И.А., Осипов Д.С., Сальников В.В. Комплексная оценка результативности сквозных технологий производства с использованием логики антонимов на примере шаровых пальцев. Магнитогорск: «МГТУ им. Г.И. Носова», 2005. Т.1.

12. Гун Г.С. Создание и развитие теории квалиметрии металлургии / Г.С. Гун, Г.Ш. Рубин, М.В. Чукин, И.Ю. Мезин, А.Г. Корчунов // Вестник Магнитогорского технического университета им. Г.И. Носова. 2003. №5. С.67.

13. Рубин Г.Ш. Комплексная оценка качества стальной канатной проволоки / Г.Ш. Рубин, Г.С. Гун, Е.А. Пудов // Сталь. 1983. № 1. С. 56.

14. Гун Г.С. Оптимизация процессов ОМД по комплексному критерию качества / Г.С. Гун, Е.А. Пудов, Иванова Л.Б. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 198. №8. С.62.

15. Гун Г.С. Управление качеством в метизном производстве / Г.С. Гун, М.В. Чукин, Г.Ш. Рубин // Металлургические процессы и оборудование. 2013. №4(34). С. 106-111.

16. Рубин Г.Ш. Разработка теории квалиметрии метизного производства / Г.Ш. Рубин, М.В. Чукин, Г.С. Гун, Д.М. Закиров, И.Г. Гун // Черные металлы. 2012. №7. С. 15-20.

17. Ушаков, С.Н. Высокопрочная арматура для железобетонных шпал нового поколения / С.Н. Ушаков, М.В. Чукин, Г.С. Гун, А.Г. Корчунов, М.А. Полякова // Путь и путевое хозяйство. 2012. № 11. С. 25-27.

18. Чукин М.В. Особенности реологических свойств конструкционных наносталей / М.В. Чукин, А.Г. Г.С. Гун, М.П. Барышников, Р.З. Валиев, Г.И. Рааб // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. №1. С.24-27.

19. Клековкина Н.А., Клековкин А.А., Никитов Б.А., Гун Г.С., Корчунов А.Г., Зюзин В.И., Кулеша В.А., Савельев Е.В., Белалов Х.Н. Производство стальной проволоки. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. МГТУ им. Г.И. Носова, 2015.

УДК 621.791

Касаткина Е.Г., Мезин И.Ю., Солдатенко А.Ф.

АНАЛИЗ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ ПЛАТИНИТА РАЗНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

Аннотация. В представленной работе проведен сравнительный анализ потребительских свойств платинита разных производителей. Рассмотрены как продукция российских предприятий, так и зарубежные аналоги. Установлено, что отечественный платинит, хоть и не сильно отличается по своему составу от зарубежных аналогов, все же уступает им по своим параметрам, таким как физические и технологические свойства, а также качеству поверхности.

Ключевые слова: композиционный материал, биметалл, платинит, коэффициент линейного термического расширения, коэффициент разнотолщинности абсолютный, железоникелевый сплав.

Среди многообразия современных материалов, появление которых диктуется потребностью техники и промышленности, значительное место занимают композиционные материалы (КМ) [1-4]. В современной литературе они рассматриваются как искусственные материалы, создаваемые с целью получения новых служебных свойств из двух или более разнородных компонентов, не обладающих в исходном состоянии этими свойствами. Разнородные компоненты КМ, как правило, имеют определенную форму, распределены по объему композиции в определенной закономерности и разделены между собой выраженной границей [5]. Относя к категории композиционных материалов слоистые (слойные), волокнистые и дисперсные материалы, полагают, что совокупное использование разнородных материалов наделяет композиционные материалы не только повышенной прочностью, но и другими новыми потребительскими свойствами, недостижимыми при отдельном использовании каждого из компонентов [2-3,6]. Примером такого конструирования и использования материалов являются, так называемые, платиниты – материалы, обладающие одинаковым с платиной и стеклом коэффициентом температурного расширения [3,7-9].

В отечественной нормативной документации и технической литературе [2,5,7] принято следующее определение: платинит – биметаллическая проволока, состоящая из железоникелевого сердечника (58 % железа, 42 % никеля) и нанесенной на него механическим или гальваническим путем медной оболочки.

Именно комбинация материала сердечника и процентное содержание меди в композиции, позволяют получить биметаллические композиционные аналоги, замещающие дорогие природные материалы. Платинит, разработанный в 1913 году в США, нашел широкое применение в качестве токовводов, впаиваемых в стекло при изготовлении электровакуумной аппаратуры и электрических ламп накаливания. По структуре композиции платинит представляет собой биметаллическую проволоку. По назначению он относится к группе материалов с заданным значением коэффициента термического расширения (КЛТР), используемых для изготовления токопроводящих деталей, которые в конструкции прибора жестко и герметично сопрягаются со стеклом, керамикой или другими изоляторами. Требования к геометрии поперечного сечения готовой продукции заключаются в достижении круглой формы ее контура и коаксиальном расположении круглого сердечника [2,5,7].

Отечественным нормативным документом на платинит ОСТ 11 0077-84 в качестве сердечника рекомендованы железоникелевые сплавы следующих марок: 42НГ-ВИ, 42НГ-ВД, 44НГ-ВИ, 44НГ-ВД по ТУ 14-1-1928 и 43Н по ТУ 14-1-2369. В настоящее время для платинита преимущественно используется железоникелевый сплав марки 43Н. Информация о свойствах указанного сплава приведена в **табл. 1**.

Таблица 1
Характеристика свойств сплава 43Н

Марка сплава		43Н	
Точка Кюри, °С		330	
Температура плавления °С		1425	
Электросопротивление, $\mu\Omega$ см		61	
Механические свойства	Холодно-деформиро-	Временное сопротивление разрыву, σ_{BR} , МПа	670
		Предел текучести, σ_T , МПа	630
		Относительное удлинение, %	5
	Термо-обработанный	Временное сопротивление разрыву σ_{BR} , МПа	500
		Предел текучести, σ_T , МПа	300
		Относительное удлинение, %	30
Модуль Юнга, МПа		145000	

В зависимости от конкретного назначения коэффициент линейного термического расширения (КЛТР) таких материалов должен иметь очень малые или очень большие значения и быть равным КЛТР стекла или другого сопрягаемого материала [2]. Платинит по значению КЛТР соответствует силикатным стеклам платиновой группы. В отечественной промышленности платинит производится с использованием двух способов, регламентированных ОСТ 11 0077-84, нанесения оболочки: трубчатым и гальваническим.

Структура производственного процесса приведена на **рис. 1**. Сортамент платинита и области его применения представлены в **табл. 2**.

Таблица 2

Сортамент платинита и области ее применения

Вид продукции, маркировка	Состав композиции	Нормативный документ	Типовое применение, назначение
CLADIMPHY 20-30-40-54 60-70 и 80 % PHILIPS (Голландия)	Сердечник: сталь низкоуглеродистая Оболочка: медь, от 20 до 80 % веса	ASTM B452 для Clad 30 и Clad 40	Диоды в стеклянном, пластмассовом корпусе, резисторы и др, гальванические электроды, составные ламповые электроды, коаксиальные кабели.
DUMET 42-24 IMPHY (Франция)	Сердечник: Fe Ni 42 Оболочка: медь, 24%	-	Диоды в стеклянном корпусе, диоды типа Melf, электроды для осветительных и индикаторных ламп.
DUMET 47-19 IMPHY (Франция)	Сердечник: Fe Ni 47 Оболочка: медь, 19%	-	
ПБВГ (Россия)	Сердечник: сталь Св 08А Оболочка: медь, 20%	ТУ 14-4-1668-91	Выводы радиодеталей
ПБВГ 0,5 (Россия)	Сердечник: сталь Св 08А Оболочка: медь, 20-28%	ТУ 14-198-117-95	
ПБВМ (Россия)	Сердечник: сталь Св 08А Оболочка: медь, 30-40%	ТУ 14-4-1610-90	
ПБР (Россия)	Сердечник: кач. констр. сталь Оболочка: медь, 30-40%	ТУ 14-4-224-72	Радиочастотные кабели, авиaproвода, специальные импульсные микрокабели
ПТ и ПГ (Россия)	Сердечник: 42Н Подслой: латунь Л63 Оболочка: медь, 21-30%	ОСТ 11 0077-84	Составные выводы радиодеталей
БГТ (Россия)	Сердечник: 42Н Оболочка: медь, 3,8-12,0% веса	ТУ ЯеО020. 008	Составные ламповые электроды

Для улучшения спаиваемости со стеклом на заключительном этапе изготовления платинита на отечественных предприятиях производится его борирование, в результате которого на медной поверхности формируется тонкий борнозакисный слой, состоящий из безводного борнозакисного калия и закиси меди. За рубежом, наряду с борированным платинитом, производят платинит оксидированный, имею-

щий на поверхности тонкий однородный меднозакисный слой. Производство оксидированного платинита, а так же какие-либо нормативные документы по такому платиниту в настоящее время в России отсутствуют. Между тем, в отечественной практике широко используется оксидированный платинит. В связи с этим, предприятия – потребители изделий, содержащих оксидированный платинит, в оборонной промышленности и авиации вынужде-

ны обращаться к зарубежным поставщикам [10].

Сравнительный анализ основных потребительских свойств платинитовой проволоки проведен на основе нормативных требований, методик оценки качества металлопродукции [11-15] и результатов фактического исследования образцов платинита отечественного производства (по ОСТ 11 0077- 84) и основных европейских производителей. Исследовались образцы платинита марки ПГБ массового промышленного производства (состав и характеристика приведены в **табл. 3**) и платинит опытной партии, изготовленный по техноло-

гии твердофазного соединения компонентов [16-19] (методом оборачивания, СКБ «Луч», г. Владикавказ).

Зарубежные аналоги представлены образцами платинита производства IMPHY (Франция) и PHILIPS (Голландия), характеристика данной продукции приведены в **табл. 4**. Потребительские свойства платинита производства PHILIPS полностью совпадают с приведенными в указанной таблице значениями, отличие платинита производства этих фирм заключается лишь во внешнем виде: платинит производства PHILIPS имеет более светлый цвет оксидного слоя.



Рис. 1. Обобщенная блок-схема технологий производства платинита

Таблица 3

Характеристика платинита по ОСТ 11 0077-84

Марка платинита	Массовая доля меди в платините, %	(КЛТР), $\times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ в интервале 20 – 300 $^{\circ}\text{C}$	КРТА не менее	Относительное удлинение, %, не менее для диаметров, мм		
				0,20-0,35	0,40-0,60	> 0,60
ПТБ 1	22-28	83,3 \pm 4,5	0,4	22	24	18
ПТБУ 1	23-28	83,6 \pm 4,2	0,5			
ПТБ 2	22-28	88,2 \pm 3,8	0,4			
ПТБУ 2	23-28	88,5 \pm 3,5	0,5			
ПТМ	22-28	-	-	-		
ПТТ		-				
ПТ		-				
ПГМ	21-30	-				
ПГБ		86,8 \pm 4,9	0,3	20	23	
ПГБУ 1	23-30	87,3 \pm 4,4	0,4	22	24	
ПГБУ 2	21-28	86,3 \pm 4,4				

Таблица 4

Характеристика платинита производства IMPHY (Франция)

Марка	Проводимость, % IACS	КЛТР, $\times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$	Временное сопротивление разрыву, $\sigma_{\text{вр}}$, МПа	Относительное удлинение, %
DUMET 42-24	23	78	480	≥ 20
DUMET 42-28	27	80	480	≥ 20
DUMET 47-19	20	93	500	≥ 20

В качестве характеристики равномерности распределения меди в плоскости поперечного сечения приведены значения показателя, рекомендуемого ОСТ 11 0077-84: КРТА – коэффициент разнотолщинности абсолютный, который определяется как отношение минимального значения толщины оболочки h_{min} к максимальному h_{max} :

$$KPTA = \frac{h_{\text{min}}}{h_{\text{max}}}$$

Значение электропроводности платинита ОСТ 11 0077-84 не регламентирует. В качестве характеристики электропроводности платинита в табл. 4 приведена условная проводимость платинита с размерностью % IACS.

Сравнительный анализ отечественного платинита и зарубежных аналогов показал, что анализируемые марки платинита имеют близкую по составу структуру композиции (табл. 5). Различие в массовой доле меди в биметалле и вариации содержания никеля в материале сердечника (табл. 2) обусловлены необходимостью расширения сортамента продукции, с регламентируемым диапазоном значений КЛТР: от 78 до $83 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ и от 83 до $89 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ для отечественных и зарубежных марок платинита, соответственно. Вместе с тем следует отметить, что в отечественной практике при изготовлении стеклянных конструкций могут использоваться такие марки стекла, как ДС-10 по ТУ РБ 09429319.002-99 с КЛТР равным $90 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ для корпусов полупроводниковых приборов и марка СЛ97-1 со значением КЛТР равным $97 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$, производимого по 16-91 ЖТДИ 670300.015 ТУ и применяемого при изготовлении ламп накаливания [2].

На рис. 2 приведены свойства материалов, характеризующие возможность удовлетворительной в широком температурном диапазоне совместной работы платинита марки DUMET в спаях с рекомендуемым для этой марки платинита стеклом марки SCHOTT.

Фактическая разнотолщинность оболоч-

ки по результатам исследования образцов платинита от зарубежных производителей минимальна: значения показателя КРТА от 0,85-1,00. Отечественный промышленный платинит, изготовленный гальваническим способом, по этому показателю не уступает зарубежному. Однако, образцы платинита, изготовленные методом оборачивания, при удовлетворении требованиям стандарта (например, платинит марки ПГБ, табл. 3), значительно уступает по этому показателю другим исследуемым зарубежным образцам [2, 20].

Как отмечалось ранее, получение вакуумплотного спая платинита и стекла обеспечивается наличием на поверхности платинита тонкого оксидного слоя, который при пайке взаимодействует с окислами структурной сетки стекла с образованием слоя, состоящего из кристаллов сложных соединений типа шпинелей: $\text{Cu}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ [21]. Практика промышленного применения платинита (например, на заводе «Цветотрон», г. Брест) показала, что оптимальная толщина оксидного слоя, состоящего только из закиси меди Cu_2O , составляет 1-2 мкм.

По состоянию оксидного слоя этим требованиям отвечает импортный платинит. Борированный платинит отечественного производства имеет борнозакисную пленку, толщиной до 6 мкм, что является одной из основных причин отказа от применения такого платинита в электронике, в производстве приборов для оборонной промышленности, авиации.

Толщина оксидного слоя напрямую стандартом не регламентируется. Его качество оценивается по цвету, отражающему и толщину поверхностного слоя и ее состав. По требованиям ОСТ 11 0077-84 поверхность борированного платинита должна иметь цвет от светло-кирпичного до вишневого, устанавливаемый образцами внешнего вида. По визуальной оценке отечественный борированный платинит имеет преимущественно малиновый цвет со слабым глянцевым блеском.

Сравнительный анализ основных потребительских характеристик платинита различных производителей

Параметр	Значения параметров	
	ПГБ, ОСТ 11-0077-84 (разных производителей)	DUMET 42-24 (IMPHY, Франция) *
Содержание меди в композиции, %	21-30	17-28
Марка сердечника	43H (43 % Ni)	Fe Ni 42 (42 % Ni) Fe Ni 47 (47 % Ni)
Толщина переходного слоя на границе раздела компонентов	до 4-5 мкм	до 4 мкм
Механические свойства (в скобках фактические значения)		
Временное сопротивление разрыву, $\sigma_{вр}$, МПа	не регламентировано (550-700)	500 (470-500)
Относительное удлинение, %	18-24 (11-23)	не менее 20 (25-30)
Электротехническая характеристика		
Удельное электросопротивление, $\mu\Omega \times \text{см}$	не регламентировано	7,5-8,6
Проводимость, % IACS	не регламентировано	20-27
Геометрия поперечного сечения (в скобках фактические значения)		
Коэффициент разнотолщинности оболочки (КРТА)	Требование: не менее 0,3-0,5 (гальванический: 0,85-1,0) (опытный: 0,35-0,60)	Не регламентировано (0,85-1,0)
Характеристика поверхности (фактические значения)		
Толщина окисного слоя	≈ 6 мкм	$\approx 1-2$ мкм
Состав поверхностного слоя	Бура, закись меди (фиолетово-бурый оттенок свидетельствует о присутствии в составе слоя окиси меди)	Закись меди
Коэффициент линейного термического расширения в радиальном направлении (в зависимости от марки)		
КЛТР, $\times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ в интервале 20 – 300 $^{\circ}\text{C}$	83 -89	78-93

* Платинит производства PHILIPS имеет аналогичную характеристику.

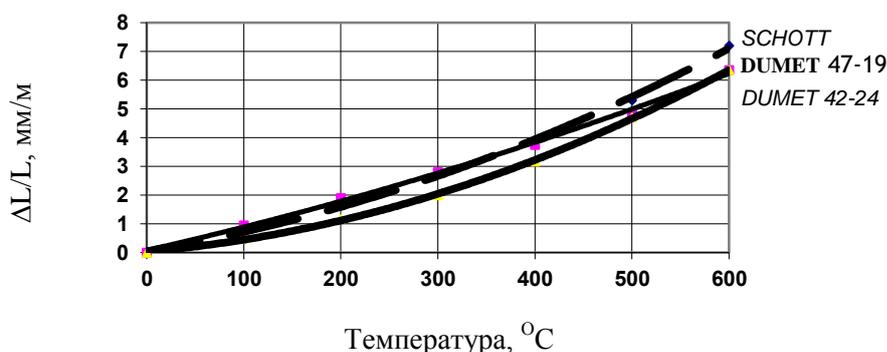


Рис. 2. Зависимость величины относительного теплового расширения от температуры

При анализе структуры поверхности платинита (рис. 3, а) обнаруживаются области с включениями черного и желтого цвета (на снимке светлые участки). Присутствие черного цвета свидетельствует о наличии в составе оксидной пленки нежелательной окиси меди CuO; участки желтого цвета – скорее всего избыточное скопление буры. Визуально зарубежный платинит отличается более светлым цветом с оранжевым отливом и большим бле-

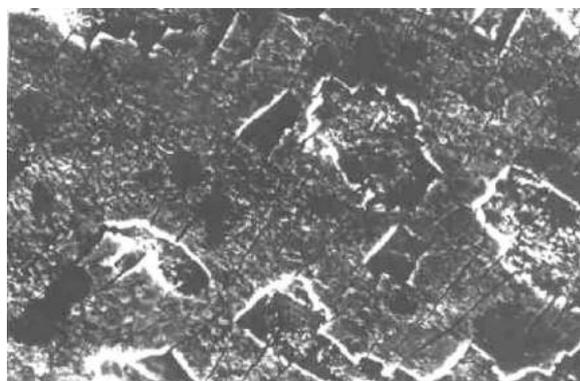
ском, включения отсутствуют. На поверхности проволоки наблюдается сетка микротрещин (рис. 3, б).

По обобщенной оценке поверхности оксидный слой на платините производства IMPHY (Франция) отличается однородностью по сравнению с борнозакисной поверхностью платинита по ОСТ 11 0077-84. Кроме этого борнозакисный слой на отечественном платините обладает повышенной хрупкостью, при-

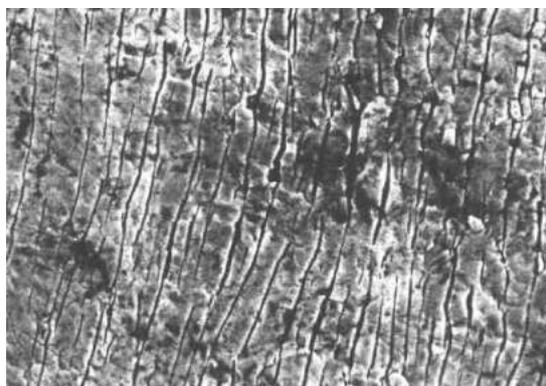
водящей к нарушению сплошности при транспортировке и проведении технологических операций у потребителя, о чем свидетельствуют оголенные участки медной поверхности, наблюдаемые при микроскопическом анализе (рис. 3, а) [2,8,10].

Таким образом, сравнительный анализ качества платинита от разных производителей показал, что отечественный платинит, хоть и не сильно отличается по своему составу от зарубежных аналогов, все же уступают им по своим параметрам: как по физическим и технологическим свойствам, так и по качеству поверхности. Такое состояние дел является одной из основных причин отказа от приме-

ния борированного платинита отечественного производства в электронике, в производстве приборов для оборонной промышленности и авиации. Отечественные предприятия – потребители изделий, содержащих оксидированный платинит, вынуждены обращаться к зарубежным поставщикам. Для улучшения качества отечественного платинита и реализации концепции импортозамещения на российских предприятиях требуется проведение дополнительных исследований и опытно-конструкторских работ с целью создания продукции, не уступающей по качеству зарубежным аналогам [22].



а)



б)

Рис. 3. Поверхность платинита (без травления, фото $\times 500$):
а) борированный платинит по ОСТ 110077-84
б) оксидированный платинит производства IPRHU

Список литературы

1. Новые материалы для электроники. / Под ред. Д.И. Лайнера. – М.: Металлургия, 1967. – 268с.
2. Солдатенко А.Ф., Касаткина Е.Г. Производство платинита: технология, качество: Монография. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. – 183 с.
3. Получение порошковых материалов и изделий (ОПЫТ РАБОТЫ ЗАВОДА "МАРС") /А.А. Гостев, Г.С. Гун, И.Ю. Мезин, Е.Г. Козодаев, И.Ф. Тимошенко, И.Г. Гун -Магнитогорск: МПП, 1993.- 112 с.
4. Гун Г.С. Инновационные решения в обработке металлов давлением (научный обзор) // Качество в обработке материалов. 2014. № 2. С. 5-26.
5. Политехнический словарь / Редкол.: А.Ю. Ишлинский (гл. ред.) и др. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Советская энциклопедия, 1989. – 656с. с ил.
6. Мезин И.Ю. Формирование металлоизделий из структурно-неоднородных материалов: Монография.- Магнитогорск: МГТУ им. Г.И.Носова, 2000. – 155 с.
7. ОСТ 11 0077-84. Платинит. Технические

условия. Издание официальное ГР 8351807 от 28.05.85. – 22 с.

8. Касаткина Е.Г. Повышение качества платинита совершенствованием технологии его производства: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Касаткина Елена Геннадьевна. 2006. 137 с.

9. Солдатенко А.Ф., Касаткина Е.Г. Способ изготовления платинитовой проволоки: пат. на изобретение 2354517 Рос. Федерация, МПК В 23 К 20/04. БИПМ, 2009. №13. С. 522-523.

10. Касаткина Е.Г. Оксидирование композиционной проволоки специального назначения. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2005. № 9. С. 71-72.

11. Чукин М.В. Развитие теории качества металлопродукции (Научный обзор). // Качество в обработке материалов. 2015. № 1(3). С. 5-10.

12. Создание и развитие теории квалиметрии металлургии / Гун Г.С., Рубин Г.Ш., Чукин М.В., Гун И.Г., Мезин И.Ю., Корчунов А.Г. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2003. № 5. С. 67.

13. Гун Г.С., Мезин И.Ю., Рубин Г.Ш., Минаев А.А., Назайбеков А.Б., Дья Х. Генезис научных исследований в области качества металлопродукции. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (45). С. 92-97.

14. Гун Г.С., Мезин И.Ю., Корчунов А.Г., Чукин М.В., Гун И.Г., Рубин Г.Ш. Научно-педагогическая школа Магнитогорского государственного технического университета по управлению качеством продукции и производственных процессов. // Качество в обработке материалов. 2014. № 1. С. 5-8.

15. Колокольцев В.М. Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. История. Развитие // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (45). С. 5-6.

16. А.С. № 1759497 СССР, МКИ6, В 21 С 23/22. Способ получения платинитовой проволоки / Пагиев С.С., Дзуцов К.Г., Дулаев А.К. Оpubл. в Б.И. № 33, 1992.

17. Гун Г.С., Солдатенко А.Ф., Касаткина Е.Г. Качество биметаллической проволоки при твердофазном соединении компонентов // Эффективные технологии производства метизов: Сб. науч. тр. – Магнитогорск: МГТУ, 2001. – С. 38-46.

18. Стеблянко В.Л., Солдатенко А.Ф., Щербо Ю.А. Формоизменение компонентов при

производстве биметаллической проволоки сваркой в калибре // Новые технологии производства слоистых металлов, перспективы расширения их сортамента и применения: Материалы науч.-техн. семинара. – Магнитогорск: изд-во МГМИ, 1987. – С. 33.

19. Стеблянко В.Л. Создание технологий получения биметаллической проволоки и покрытий на основе процессов, совмещенных с пластическим деформированием. Дисс... докт. техн. наук. – Магнитогорск, 2000.

20. Солдатенко А.Ф., Касаткина Е.Г. Влияние распределения компонентов биметаллической проволоки в плоскости поперечного сечения на потребительские свойства // Обработка сплошных и слоистых материалов: Межвуз. сб. науч. тр. – Магнитогорск: МГТУ, 2001. – С. 205-211.

21. Хряпин В.Е., Лакедемонский А.В. Справочник паяльщика. Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1974. – 328с.

22. Гун Г.С., Солдатенко А.Ф., Касаткина Е.Г. Исследование технологии производства композиционной проволоки специального назначения с целью улучшения эксплуатационных свойств // Обработка сплошных и слоистых материалов: Межвуз. сб. науч. тр. – Магнитогорск: МГТУ, 2003. – С.206-209.

УДК 66.669

Салганик В. М., Полецков П. П., Бережная Г.А., Гущина М.С., Мишуков М. В.

РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ПРОКАТКИ ВЫСОКПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ МАРОК 17Г1С И 09Г2С С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛОПРОКАТА*

Аннотация. В статье рассмотрены основные направления развития современных систем газо и нефтепроводов, а так же соответствие качества проката требованиям нормативных документов, полученного в ходе применения действующей технологии производства высокопрочных низколегированных сталей марок 17Г1С и 09Г2С. Выполнен анализ полученных результатов в процессе физического моделирования. По результатам анализа заключили, что проведенные в работе исследования и полученные результаты на базе научно-производственного комплекса ООО «Термодеформ-МГТУ» подтвердили все необходимые свойства высокопрочных низколегированных марок сталей 17Г1С и 09Г2С.

Ключевые слова: высокопрочные низколегированные стали, термомеханическая прокатка, физическое моделирование, качество, конструктивная прочность.

* Работа проведена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологического производства, выполняемого с участием российского высшего учебного заведения (договор 02.G25.31.0105).

Основные проблемы и направления развития трубной промышленности. Назначение и применение высокопрочных конструкционных низколегированных марок сталей 17Г1С и 09Г2С.

Проблема повышения качества и расширения сортамента проката обусловлена опережающими темпами роста производства прогрессивных видов металлоконструкции, увеличением требований прочностным характеристикам [1, 2].

Низколегированные высокопрочные стали применяются для изготовления сварных металлоконструкций и деталей, работающих под давлением при температурах от -40 до $+475$ °С. Их применяют для строительства газопроводов, нефтепроводов, тепловых электростанций и тепловых сетей, и газонефтепроводов повышенной коррозионной стойкости наружным диаметром 720, 820, 1020 и 1220 мм [3]. Основными направлениями развития современных систем газо- и нефтепроводов являются увеличение рабочего давления, снижение металлоемкости трубопровода и трудоемкости его строительства.

Повышение рабочего давления приводит к увеличению толщины стенки трубы, что при производстве штрипса на действующем оборудовании является трудной металлургической задачей [4]. Дополнительные требования предъявляются к трубному металлу по свариваемости и хладостойкости, что обусловлено необходимостью освоения новых месторождений нефти в суровых климатических условиях северных регионов России [5]. Производство проката для труб повышенных классов прочности (К65-К60) позволяет либо не увеличивать толщину стенки, либо увеличивать ее незначительно при существенном росте внутреннего давления [3].

Получение сталей высокой прочности неизбежно ведет к понижению характеристик пластичности и, прежде всего, сопротивления хрупкому разрушению. Поэтому надежность стали в конструкции (изделии) может быть охарактеризована конструктивной прочностью — комплексом механических свойств, находящихся в корреляции с эксплуатационными условиями работы изделий. Для большинства конструкционных высокопрочных сталей такими параметрами конструктивной прочности являются: предел текучести (σ_T) и параметр вязкости разрушения — DWTТ, KCV (KCU) [1].

Моделирование технологического процесса производства сталей марок 17Г1С и 09Г2С с использованием лабораторного комплекса ООО «Термодеформ – МГТУ».

В исследовании была проведена работа, связанная с применением технологии производства высокопрочных сталей. Для наиболее точного результата использовалось физическое моделирование. Сущность его заключается в физическом воспроизведении исследуемого процесса фрагментарно или целиком, комплексно. Моделирование в данном случае проводилось в условиях лабораторного комплекса ООО «Термодеформ-МГТУ», который позволяет находить новые разнообразные возможности по исследованию, проектированию и совершенствованию технологических режимов толстолистовой прокатки, включая варьирование параметров химического состава выплавляемой стали и сложный комплекс механических свойств готовой продукции [6, 7].

Для моделирования реального процесса необходимо было получить слитки размерами 100x100x300 мм. В качестве шихтовых материалов для выплавки стали применяли чистый металлический лом. В ходе выплавки раскислители и легирующие элементы применялись в чистом виде и в виде сплавов с железом. Выплавка металла осуществлялась в индукционной печи. Процесс разлива стали происходил через промежуточный ковш, а затем в изложницу для получения слитка.

Нагрев слитка перед прокаткой осуществлялся в камерной электрической печи с подвижным подом. Черновая и чистовая стадии прокатки заменялась прессованием. Моделирование проводилось пошагово на гидравлическом прессе с применением радиальных сегментов, многократным обжатием с постоянным контролем температурного режима. А моделирование последних проходов происходило на реверсивном стане «ДУО».

Затем для осуществления термического упрочнения металла и получения необходимых прочностных характеристик раскат подавался в установку ускоренного охлаждения.

Полученные в результате физического моделирования образцы подвергались испытаниям падающим грузом, а так же на растяжение. Свойства, полученные в ходе испытаний, соответствовали нормативным документам по ГОСТ 5520-79. В **табл. 1** предоставлена сравнительная характеристика результатов физического моделирования.

Таблица 1

Результаты механических испытаний

Марка стали	Временное сопротивление разрыву σ_b , Н/мм ²	Предел текучести σ_T , Н/мм ²	Относительное удлинение d_y , %	Ударная вязкость Дж/см ²
				КСУ -40
Требования по ГОСТ 5520-79 (в диапазоне или не менее)				
17Г1С	510	345-355	23	44
09Г2С	470-490	345-350	21	34-39
Результат (среднее)				
17Г1С	530	355	25	48
09Г2С	495	352	24	40

Заключение

В результате работы был смоделирован режим термомеханической прокатки с целью получения металлопроката класса прочности К48 и К52. Данные по параметрам механических свойств изготовленных образцов соответствуют требованиям ГОСТ 5520-79.

В результате проведенного анализа можно сделать вывод о том, что технология производства сталей марок 17Г1С и 09Г2С является эффективной и позволяет получить необходимые свойства удовлетворяющие требованиям потребителя. Кроме того, лабораторный комплекс ООО «Термодеформ-МГТУ» позволяет осуществлять поиск технологических режимов производства новых марок стали и исключить риск получения отрицательного результата с потерей металла в несоответствующую продукцию и брак.

Список литературы

1 Салганик В.М., Румянцев М.И. Технология производства листовой стали; Учебное пособие.- Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. – 320 с.

2 Чукин М.В. Развитие теории качества металлопродукции // Качество в обработке материалов. 2015. №1. С. 5-10.

3 ГОСТ 20295-85 Трубы стальные сварные для магистральных газонефтепроводов.

4 Салганик В.М., Чукин М.В. История развития и основные направления деятельности Магнитогорской школы обработки металлов давлением. Черные металлы. 2011. Специальный выпуск. С. 39-42.

5 ГОСТ 5520-79 Прокат листовой из углеродистой, низколегированной и легированной стали.

6 Салганик, В.М. Научно-производственный комплекс «Термодеформ» для создания новых технологий / В.М. Салганик, П.П. Полецков., М.О. Артамонова и др. // Сталь. – 2014. – №4. – С. 104–107.

7 Физическое моделирование процессов производства горячекатаного листа с уникальным комплексом свойств / В.М. Салганик, С.В. Денисов, П.П. Полецков, П.А. Стеканов, Г.А. Бережная, Д.Ю. Алексеев // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 3. С. 37-39.

УДК 539.42

Трофимов В. Н., Карманов В. В., Панин Ю. В.

ОСТАТОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И КРИТЕРИЙ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ

Аннотация. При проектировании технологических процессов механической обработки изделий, подвергаемых механической обработке, для предотвращения появления дефектов необходимо использовать критерии механики разрушения. В линейной механике разрушения одним из наиболее применяемых является критерий трещиностойкости K_{Ic} . Методика определения K_{Ic} является трудоемкой, а его применение для оценки разрушения изделий из пластичных металлов затруднительно. Предложен критерий трещиностойкости, который может быть определен из экспериментов на одноосное растяжение.

Ключевые слова: остаточные напряжения, трещина, трещиностойкость, технологический процесс, механическая обработка, деформируемая среда.

При проектировании технологических процессов механической обработки изделий, подвергаемых механической обработке, в частности, обработкой давлением, для предотвращения появления трещин необходимо использовать критерии механики разрушения. В линейной механике разрушения одним из наиболее применяемых является критерий трещиностойкости K_{Ic} . Методика определения K_{Ic} является трудоемкой, а его применение для оценки разрушения изделий и конструкций из пластичных металлов затруднительно.

Процесс образования и распространения трещин сопровождается пластической деформацией. При пластической деформации происходит формирование диссипативных (дислокационных) структур и системы остаточных микро- и макронапряжений, изменение энергетического состояния металла, и, соответственно, к изменению энтропии системы dS . Изменение энтропии системы можно представить как сумму обратимой $d^r S$ и необратимой $d^i S$ составляющих [1]

$$dS = d^r S + d^i S = \frac{1}{T} (X_k^r + X_k^i) dx_k,$$

где $d^r S$ - прирост энтропии вследствие теплообмена с окружающей средой; $d^i S$ - производство энтропии внутри системы; x_k - механические координаты; X_k^r и X_k^i - обратимая и

необратимая части обобщенной термодинамической силы X_k , соответственно.

Так как энтропия характеризует меру упорядоченности системы, то изменение дефектности кристаллической решетки металла характеризуется изменением $d^i S$ и, соответственно, X_k^i . Однако неизвестно, как разбиваются обобщенные силы на обратимые и необратимые составляющие, и неизвестна их связь с независимыми параметрами состояния системы. Для установления такой связи в работе [1] введена диссипативная функция системы $D(\dot{x}_k) = X_k^i \dot{x}_k = T \cdot d^i S / dt \geq 0$, которая зависит от состояния системы и её предыстории. Если известен вид $D(\dot{x}_k)$, то можно определить $d^i S$ и, соответственно, X_k^i .

В деформируемых средах обобщенной термодинамической силой является тензор напряжений σ_{ij} , характеризуемый интенсивностью σ_i , а механическими координатами - тензор деформации ε_{ij} с интенсивностью ε_i . В процессах обработки металлов давлением экспериментальная связь этих величин имеет вид диаграммы деформирования в координатах $\sigma_s - \varepsilon$, где σ_s - сопротивление деформации; ε - степень деформации. Поэтому вид диссипативной функции должен определяться видом диаграммы деформирования. Так как тензор напряжений может быть представлен суммой $X_k^r + X_k^i$, то, очевидно, что интенсив-

ность напряжений σ_i (или σ_s) также может быть представлена как сумма обратимой и необратимой составляющей.

Авторы работ [2,3] показали, что упрочнение металла $\Delta\sigma$ при пластической деформации должно быть функцией необратимого приращения энтропии ΔS_D

$$\Delta\sigma = \varphi(\Delta S_D) . \quad (1)$$

Очевидно, что функция $\varphi(\Delta S_D)$ в уравнении (1) определяется видом диаграммы деформирования и позволяет связать упрочнение с необратимой частью тензора напряжений.

В механике деформируемого твердого тела широко используются модели идеально-упругого и идеального упруго-пластического тела. Уравнение (1) позволяет сделать ряд выводов применительно к указанным моделям:

1. При $\Delta\sigma = 0$ величина ΔS_D не изменяется, то есть отсутствуют диссипативные структуры и не изменяется латентная энергия металла.

2. В процессе нагружения и разгрузки идеально-упругого тела не происходит образования диссипативных структур и его латентная энергия не изменяется.

3. В процессе нагружения и разгрузки идеального упруго-пластического тела его латентная энергия не изменяется, так как отсутствует упрочнение, что свидетельствует об отсутствии диссипативных структур.

Накопление латентной энергии ведет к появлению системы остаточных упругих напряжений, которые могут препятствовать или инициировать возникновение пластического течения.

Оценим энергию системы остаточных упругих напряжений, возникающих в процессе пластической деформации. Рассмотрим диаграмму деформирования при одноосном растяжении в координатах $\sigma_s - \varepsilon$ (рис.1).

Пусть в произвольный момент времени напряженно-деформированное состояние частицы металла соответствует точке b диаграммы. В процессе деформирования достичь этой точки можно по двум траекториям: o-a-b и o-a-1-b. Первая траектория соответствует реальному процессу нагружения с увеличением латентной энергии, вторая представляет комбинацию из диаграмм деформирования идеального упруго-пластического и идеально-

упругого тела. Предположим, что процесс деформирования по траектории o-a-1-b производится следующим образом: упруго-пластическое деформирование по траектории o-a-1 \rightarrow разгрузка по траектории 1-1' \rightarrow упругое деформирование по траектории 1'-b.

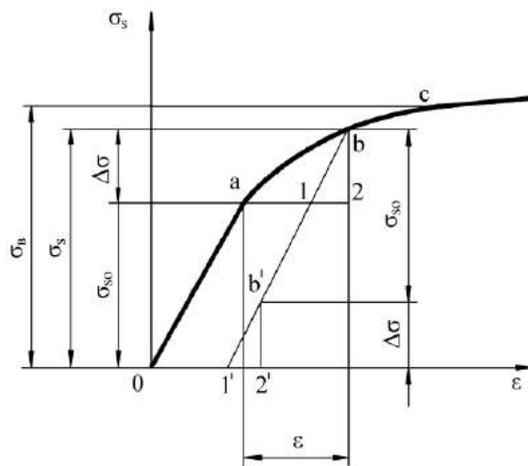


Рис.1. Диаграмма упрочнения

Металл на участке o-a-1 не упрочняется, поэтому, на основании выводов полученных ранее, при разгрузке от точки 1 и последующем нагружении от точки 1' в момент начала пластической деформации интенсивность напряжений не должна превышать величины σ_{s0} . Поэтому для достижения точки b, нагружение необходимо начать не из точки 1', а из точки b', то есть необходима начальная упругая энергия, величина которой определится площадью треугольника 1'-b'-2'

$$u_v = \frac{(\sigma_s - \sigma_{s0})^2}{2E} = \frac{\Delta\sigma^2}{2E} = \frac{(m\varepsilon^n)^2}{2E} . \quad (2)$$

Формула (2) показывает, что энергия u_v определяется величиной $\Delta\sigma$, соответствующей необратимой части тензора напряжений, и зависит от достигнутой степени деформации.

Для получения критерия трещиностойкости в качестве рабочей гипотезы примем, что, как и в линейной механике разрушения, критериальное уравнение имеет вид

$$K_{Ic} = \sqrt{2\gamma_s E / (1 - \nu^2)} \geq \sigma Y \sqrt{c} , \quad (3)$$

а на образование трещины идет упругая энергия u_v , накапливаемая в локальном объеме V

и связанная с появлением системы остаточных напряжений.

В работе [3] форма объема V , соответствующая форме дислокационного скопления, инициирующего возникновение трещины, принимается в виде эллипса с соотношением полуосей 1:0,9. Так как размеры полуосей отличаются незначительно, то примем, что объем V имеет форму сферы диаметром $2a$. В момент достижения критического значения u_v в экваториальной плоскости сферы образуется тонкая трещина в виде диска диаметром $2a$. Принимая, что на образование трещины затрачивается энергия некоторого единичного объема (пусть $V=1\text{м}^3$), определим размер образующейся трещины –

$$1 = 4/3\pi a^3 \rightarrow a = \sqrt[3]{3/4\pi} = 0,620\text{ м}.$$

Составим уравнение баланса энергии

$$2\gamma_s \cdot \pi a^2 = u_v \cdot 4/3\pi a^3.$$

Из уравнения баланса энергии и формулы получим

$$2\gamma_s = \frac{(\sigma_s - \sigma_{s0})^2}{2E} \cdot (0,827\text{ м}). \quad (4)$$

Определим величину σ_s из следующих соображений. Экспериментально показано, что первые необратимые микроповреждения металлов при одноосном растяжении, в виде микротрещин, появляются в момент окончания однородной деформации, когда происходит переход деформации от дислокационного механизма к микроразрушению [4,5,6]. Этому моменту соответствует величина σ_s равная пределу прочности σ_e , то есть $\sigma_s = \sigma_e$.

Из уравнения (3) с учётом выражения (4) получим

$$0,643 \cdot \sigma_T \cdot \frac{\sigma_e / \sigma_T - 1}{\sqrt{1 - \nu^2}} \geq \sigma Y \sqrt{c}.$$

Принимая,

$$K_{eq} = 0,643 \cdot \sigma_T \cdot \frac{\sigma_e / \sigma_T - 1}{\sqrt{1 - \nu^2}}, \quad (5)$$

запишем критериальное уравнение

$$K_{eq} \leq \sigma Y \sqrt{c}. \quad (6)$$

Из соотношений (5) и (6) определим разрушающее напряжение

$$\sigma \leq 0,643 \cdot \sigma_T \cdot \frac{(\sigma_e / \sigma_T - 1)}{Y \sqrt{(1 - \nu^2)c}}. \quad (7)$$

Формула (7) позволяет определить критическую длину трещины

$$2c \leq \frac{0,816}{1 - \nu^2} \cdot \sigma_T^2 \cdot \left(\frac{\sigma_e / \sigma_T - 1}{Y \sigma} \right)^2. \quad (8)$$

Из формул (6)-(8) следует, что допускаемые напряжения σ и критическая длина трещины $2c$ зависят не только от абсолютного значения σ_T или σ_e , но и от их отношения σ_e / σ_T . Так для хрупких металлов, у которых величина σ_e / σ_T близка к 1, допускаемая длина трещины в сотни раз меньше, чем для пластичных металлов, у которых отношение σ_e / σ_T может достигать значений 1,6 ÷ 1,7.

Рассмотрим ряд примеров для обоснования возможности применения величины K_{eq} для оценки разрушения в формулах (5) и (6) вместо величины K_{Ic} .

1. На **рис. 2** показана диаграмма зависимости критического напряжения σ от размеров трещины и величины предела текучести рассчитанная по формуле (7) для бесконечно большой пластины ($Y = \sqrt{\pi}$) из стали 45. Механические характеристики определены по данным работы [7]. Видно, что повышение прочности и увеличение размеров трещины ведет к снижению критического напряжения. Подобная зависимость изменения σ характерна для большинства конструкционных металлов и сплавов [8].

Результаты расчета показывают, что использование величины K_{eq} адекватно отражает изменение величины разрушающего напряжения в зависимости от прочностных свойств металла.

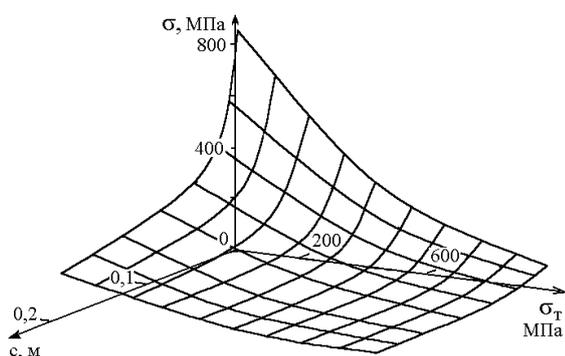


Рис.2. Зависимость предельного напряжения от длины трещины и предела текучести для стали 45

2. Из формулы (5) следует, что K_{eq} возрастает с увеличением отношения σ_B / σ_T . Это подтверждается практикой. В работе [7] указано, что трещиностойкость сталей, в частности, при штамповке, увеличивается с увеличением отношения σ_B / σ_T . Например, для стали 08кп, это достигается после пластической деформации на 0,5-1,0%, когда отношение σ_B / σ_T максимально [7].

Подобный эффект отмечает Д. Мак Лин [9] для алюминиевых сплавов, используемых в авиации - с увеличением отношения σ_B / σ_T механизм разрушения меняется от хрупкого к вязкому, то есть с повышением пластических свойств сплавов повышается их трещиностойкость.

К аналогичному результату пришли авторы работы [10], изучавшие влияние режимов термообработки на прочностные и деформационные характеристики углеродистых сталей с содержанием углерода 0,3-0,8%. Они также отметили, что с ростом отношения σ_B / σ_T пластические характеристики сталей улучшаются.

Учитывая вышесказанное, можно предположить наличие корреляции величин K_{Ic} и K_{eq} . Для проверки этого предположения вычислим коэффициент корреляции Пирсона r' для величин σ_T и K_{Ic} и r'' для величин σ_B / σ_T и K_{Ic} для ряда сталей по данным работы [12]. Результаты расчета приведены в табл. 1.

Практически для всех сталей наблюдается сильная корреляционная зависимость величин σ_B / σ_T и K_{Ic} - абсолютные значения r не менее 0,9. Несколько ниже величины r' и r'' для стали ВСтЗкп, однако и в этом случае наблюдается весьма тесная корреляционная связь. Видно, что уменьшению величины K_{Ic} соответствует увеличение σ_T и уменьшение величины σ_B / σ_T .

Очевидно, что практический интерес представляет взаимосвязь величин σ_T (или $\sigma_{0,2}$) и σ_B . В литературе значения σ_T и σ_B приводятся в виде таблиц или графиков, а анализ функциональной связи этих параметров отсутствует.

На основании экспериментальных данных предложен ряд формул, описывающих зависимость механических характеристик металлов от их структуры и температурно-скоростных параметров процесса деформации, из которых наиболее общей является экспоненциальная зависимость [12]

$$\sigma = a \cdot \exp(-bT),$$

где σ - прочностная характеристика; T - температура, $^{\circ}\text{K}$; a и b - константы, зависящие от структуры материала и условий деформирования.

Предположим, что для величин σ_T и σ_B выполняются соотношения

$$\sigma_B = a_B \cdot \exp(-b_B T); \quad \sigma_T = a_T \cdot \exp(-b_T T), \quad (10)$$

где a_T и a_B - механические характеристики при 0°K .

После преобразования выражений (10), получим

$$\sigma_B = A \cdot (\sigma_T)^B, \quad (11)$$

где $B = b_B / b_T$; $A = a_B \cdot (a_T)^{-B}$.

Таблица 1

Механические свойства сталей

Температура испытания, °K	σ_T , МПа	σ_B , МПа	K_{Ic} , МПа	r'	r''	
1) Сталь 10Г2ФБ						
293	460	630	240	-0,992	0,988	
243	500	665	230			
213	560	690	180			
77	960	1020	40			
2) Сталь ВСтЗкп						
293	280	420	170	-0,759	0,826	
243	370	510	134			
213	400	540	44			
77	850	910	28			
3) Сталь 17ГС						
293	397	555	52	-0,988	0,993	
243	449	626	53			
213	452	630	50			
77	830	898	31			
4) Сталь 17Г1С-У						
293	340	470	164	-0,934	0,906	
243	435	590	184			
213	500	630	164			
77	815	915	36			
5) Сталь 06Г2НАБ						
293	359	562	130	-0,938	0,999	
213	383	665	170			
77	758	948	38			
6) Сталь 15Х2МФА						
Закалка от 1000 °С, отпуск при 690 °С, 24 часа на воздухе, отпуск 650-670 °С, 4 часа на воздухе	293 243 213 183	583,7 647 674 696	700 752 783 805	215 127,5 108,3 68,4	-0,994	0,920
Закалка от 920 °С, 15 часов в воде, отпуск 20ч. при 650 °С, отпуск 9 ч. при 650 °С, 25 ч. при 620 °С, 20 ч. при 650 °С	293 243 213 183	593 657,7 658,7 697,5	707 756 766 795	282 86,4 91,1 63,1		

Проведем анализ формулы (11):

1. При $\sigma_T = 0$ получим $\sigma_B = 0$, что выполняется при $T \approx T_{пл}$.

2. При $T \approx 0^0 K$ или максимальной искаженной структуре металла, когда пластическое течение ограничено, $\sigma_{Bmax} = \sigma_{Tmax} = a_B = a_T$. Тогда из формулы (11) получим значение предельной прочности металла

$$a_T = A^{1/(1-B)}. \quad (12)$$

3. График функции (11) лежит выше биссектрисы квадранта, так как практически во всем диапазоне изменения σ_T всегда вы-

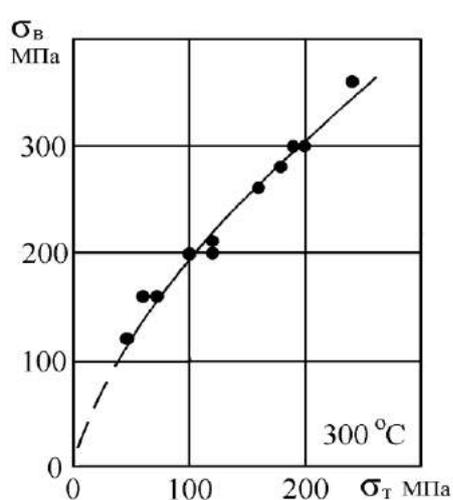
полняется условие $\sigma_B \geq \sigma_T$, и пересекает биссектрису в точке с координатами $\sigma_{Bmax}, \sigma_{Tmax}$.

4. Из п.3 следует, что $B < 1$.

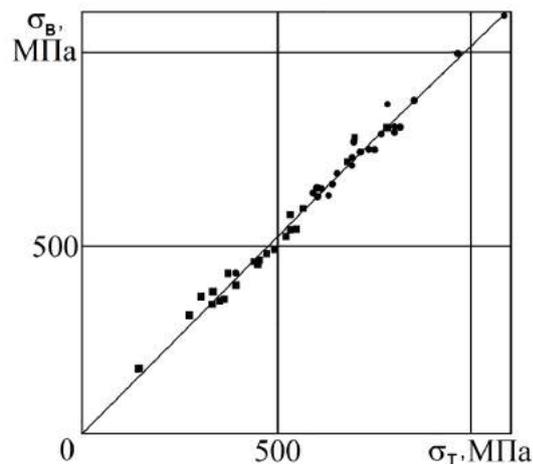
Обработка экспериментальных данных подтверждает наличие зависимости вида (11) для многих конструкционных металлов (**рис. 3-5**).

Эксперименты показывают, что на зависимость $\sigma_B - \sigma_T$ существенно влияет нейтронное облучение, что снижает их трещиностойкость (**рис. 3, б**) [13].

Аналогично получена зависимость $\sigma_B - \sigma_T$ для сплавов на основе ниобия (**рис. 6**) [14], низко- и высоколегированных сталей, титановых сплавов (**рис. 5**) [15].



$$a - \sigma_B = 13,952 \cdot (\sigma_T)^{0,575}$$

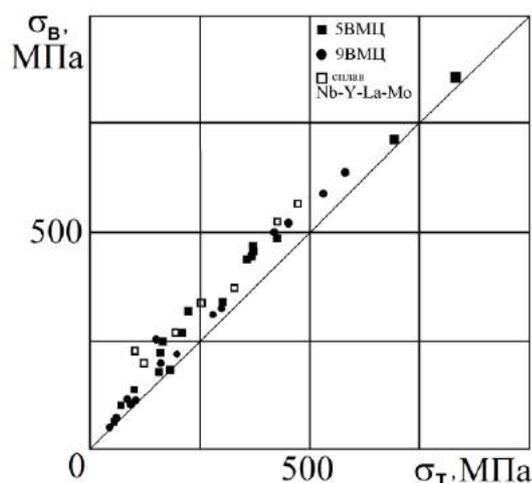


$$б - \sigma_B = 1,468 \cdot (\sigma_T)^{0,948}$$

Рис. 3. Механические характеристики циркониевых сплавов [13]:

а - Zr-1Nb при $t = 300 \text{ }^\circ\text{C}$;

б – сплавов циркаллой -2 и Zr-2,5Nb после облучения и термообработки.



$$\sigma_B = 1,974 \sigma_T^{0,92}$$

Рис.4. Механические свойства сплавов на основе ниобия

Анализ экспериментальных данных показывает, что легирование, температура и степень деформации определяют положение экспериментальной точки на кривой. Так повышение степени деформации и легирование перемещают точку вправо, а повышение температуры – влево.

Проведем анализ зависимости K_{eq} от предела текучести. Для этого преобразуем формулу (5), используя зависимость (11)

$$K_{eq} = 0,643 \cdot \sigma_T \cdot (A \cdot \sigma_T^{B-1} - 1) / \sqrt{1 - v^2} \quad (12)$$

Зависимость (12) имеет вид куполообразной кривой, экстремум которой соответствует оптимальной величине предела текучести $\sigma_{T_{opt}}$, при которой металлы должны обладать максимальной трещиностойкостью $K_{eq_{max}}$ и, следовательно, пластичностью. Величина $K_{eq_{max}}$ может быть определена из условия $dK_{eq} / d\sigma_T = 0$, а оптимальное значение предела текучести равно

$$\sigma_{T_{opt}} = (A \cdot B)^{\frac{1}{1-B}} \quad (13)$$

Для многих металлов и сплавов при комнатных температурах коэффициент B изменяется в интервале $0,7 \div 0,95$, которому соответствует достаточно узкий диапазон изменения

$$\sigma_{T_{opt}} / \sigma_{T_{max}} = B^{1/(1-B)} = 0,31 \div 0,36 ,$$

то есть максимальная трещиностойкость металлов достигается при $\sigma_T \approx \sigma_{T_{max}} / 3$.

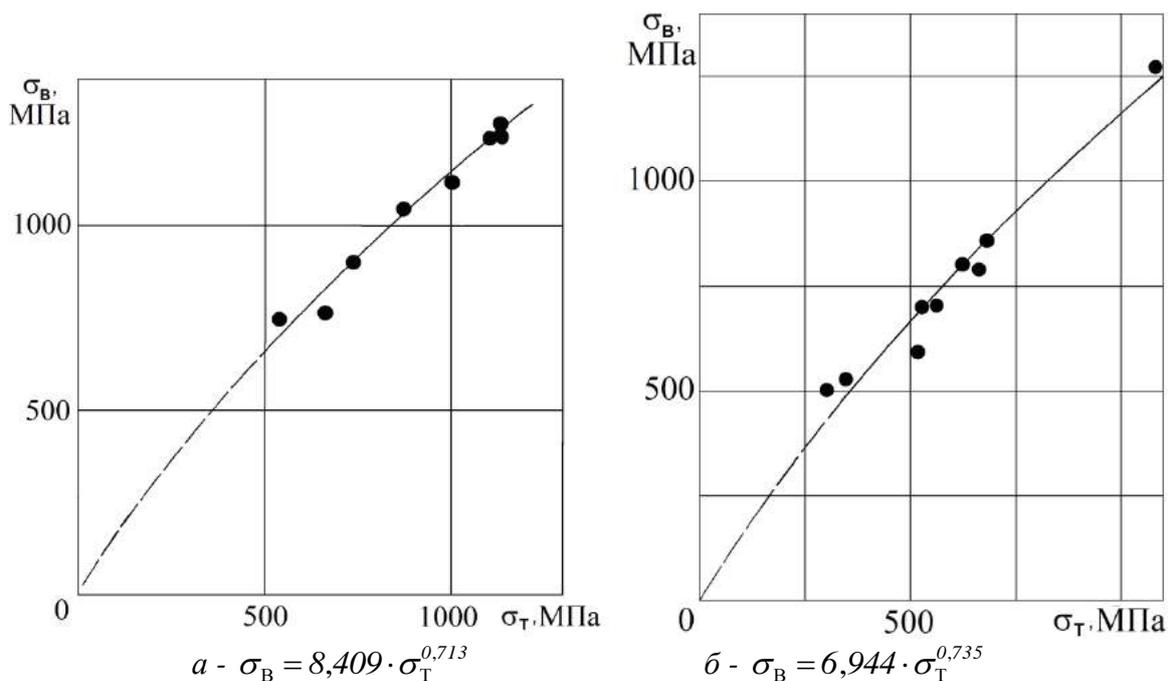


Рис.5. Механические характеристики сталей:

а - высоколегированная сталь 10X12H23T3MP; б - среднелегированная сталь 16XCH

Из сказанного выше следует:

1. Характеристика трещиностойкости K_{eq} , является функцией традиционных механических характеристик прочности σ_T и σ_B , которые можно определить из испытаний на одноосное растяжение.

2. Характеристика K_{eq} ведет себя подобно критическому коэффициенту интенсивности напряжений K_{Ic} и находится с ней в корреляционной зависимости. Следовательно, величина K_{eq} может быть использована как характеристика трещиностойкости.

3. Существует оптимальный диапазон отношения σ_B / σ_T , в котором трещиностойкость металлов максимальна.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (договор № 02G25.31.0016) в рамках реализации Постановления Правительства РФ №218.

Список литературы

1. Циглер Г. Экстремальные принципы термодинамики необратимых процессов и механика сплошной среды. // М.: Наука, 1966.
2. Григорьев А.К., Колбасников И.Г., Фомин С.Г. Структурообразование при пластической деформации металлов. - СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1992.

3. Рагозин Ю.И. // Металлы. 1996. №6. С.69-78.
4. Рашков Н., Ганчева М. Плотность на дислокации получены при единомерна пластична деформация на армко-желязо. // Годишн. Висш. Хим.-технол. Ин-т. София. 1967 (1971). Вып.14, №4. С. 441.
5. Одинг М.А., Либеров Ю.П. Накопление дефектов и образование субмикротрещин при статическом растяжении армко-железа. // Известия АН СССР. Металлургия и горное дело. 1964. №1. С.113-119.
6. Третьяков А.В., Зюзин В.И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. - М.: Металлургия, 1973. - 224 с.
7. Рагозин Ю.И., Антонов Ю.Я. // Проблемы прочности. 1984. №2. С.28-32.
8. Рагозин Ю.И. // Металлы. 1996. №6. С.69-78.
9. Золоторевский В.С. Механические свойства металлов. - М.: Металлургия, 1983. - 351 с.
10. Ривкин Е.Ю., Родченков Б.С., Филатов В.М. Прочность сплавов циркония. - М.: Атомиздат, 1974. - 168 с.
11. Металлургия циркония. - М.: Изд-во иностранной литературы. - 420 с.
12. Цвилюк И.С., Пыльников В.И., Авраменко Д.С., Коровайцев А.В. Влияние химико-термической обработки на закономерности деформирования и разрушения сплавов на основе ниобия // Проблемы прочности. №9.1984.С.49-53.
13. Александров С.И., Горынин И.В., Ярошевич В.Д. Радиационное упрочнение металлов с решеткой ОЦК // Проблемы прочности. №3.1984.С.50-57.

14. Справочник. Инженерный журнал. №8-12. 1998.

15. Кроха В.А. Упрочнение металлов при холодной пластической деформации. М.: Машиностроение, 1980. – 157 с.

16. Трофимов В.Н. Модель накопления поврежденности при пластической деформации // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. № 1 (17). С. 47-50.

17. Трофимов В.Н., Карманов В.В., Панин Ю.В., Корионов М.А. Определение остаточных напряжений при одноосной пластической деформации цилиндрического стержня // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. № 2 (50). С. 48-53.

18. Колмогоров Г.Л., Трофимов В.Н., Чернова Т.В. Условия улучшенного (смешанного) режима трения при волочении // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. № 1 (41). С. 31-33.

19. Гитман М.Б., Пустовойт К.С., Столбов В.Ю., Федосеев С.А., Гун Г.С. Концептуальная модель ситуационного центра промышленного предприятия // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (45). С. 102-106.

20. Трофимов В.Н., Кузнецова Т.В., Панин Ю.В., Шадрин А.А. Напряжение волочения сплошных профилей прямоугольного сечения // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 2 (46). С. 40-44.

УДК 616 – 089. 23 – 071. 001. 5
Васильчук А. С.

КАРТА ТЕРМОПЛАСТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СТОМАТОЛОГИИ

Аннотация. Исследованы физико-механические свойства термопластов, применяемых в стоматологии, в частности полипропилен марки «Липол». Показано, что характеристики пластичности термопластов, определяемые как часть пластической деформации при внедрении индикатора в образец, линейно зависят от температуры расплава. С ростом температуры расплава твердость образцов падает, следуя линейной зависимости. Наряду со стандартными механическими характеристиками рассмотрены: кривая течения, модуль эластичности, параметры вязкости.

Ключевые слова: карта, термопласты, пластичность, кривая течения, параметры вязкости.

Основными материалами при изготовлении ортодонтических аппаратов в стоматологии десятилетиями являются самотвердеющие пластмассы «Протакрил», и «Редонт – 03», последние годы широкое применение при протезировании получили термопласты, в частности полипропилен, нейлон. Экспериментальные исследования, приведенные в работе [1] направлены, главным образом, на определение стандартных физико-механических характеристик, таких как микротвердость, предел прочности, временное сопротивление разрыву, предел прочности при изгибе, ударная вязкость.

Указанные физико-механические характеристики не в полной мере определяют способность изделий из указанных материалов подвергаться эксплуатационным нагрузкам, быть достаточно надёжными, прочными, пластичными, износостойкими.

В качестве основного материала для ортодонтических аппаратов в дальнейшем при-

нят полипропилен. Оценка надёжности изделий из указанных выше материалов не может осуществляться в полной мере без глубоких знаний их физико-механических характеристик, на наш взгляд следует рассматривать также другие характеристики, применяемые в современных феноменологических теориях, касающихся деформации твердых тел [2,3]. Особенную роль в оценке физико-механических свойств играет модуль эластичности, который характеризуется тангенсом угла наклона прямой в координатах: интенсивность напряжений σ_i интенсивность деформаций ϵ_i на начальной стадии упругопластического деформирования, когда интенсивность деформаций не превышает $\epsilon_i < 0,05$.

Информация о модуле эластичности позволяет установить способность материала к восстановлению своей первоначальной формы после статических нагрузок. Наряду с таким

параметром как вязкость (способность к энергопоглощению) значение модуля эластичности (flexural module) в определенных границах позволяет увеличить долговечность стоматологических конструкций, что существенно уменьшает вероятность поломок.

Для расширения возможностей использовать информацию о физико-механических характеристиках стоматологических материалов предлагается рассматривать не только сравнительные стандартные механические характеристики, но и ввести новые параметры в виде функций, такие как кривые деформирования (кривые течения в терминах теории пластичности) в координатах $\sigma_i = f(\epsilon_i)$, где

интенсивность напряжений –

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}, \quad (1)$$

интенсивность деформаций –

$$\epsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_1 - \epsilon_3)^2}, \quad (2)$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ - главные напряжения, $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ - главные деформации.

Отметим также, что при прочих равных условиях (например, при совпадении пределов прочности на растяжения) нельзя судить о способности материала к энергопоглощению.

Следовательно, очевидным является актуальность вопроса сравнительной оценки физико-механических свойств материалов, применяемых в стоматологии с точки зрения указанных выше параметров. Кроме того, представляет интерес изучение влияния таких факторов, как температура расплава, реализуемая при изготовлении базиса ортодонтических аппаратов на такие характеристики как твердость, модуль эластичности и вязкость.

В работе [4] исследованы физико-механические свойства материалов, применяемых в стоматологии, в частности полипропилена марки «Липол». Изучено влияние температуры расплава полипропилена на механические характеристики. Показано, что с ростом температуры расплава от 193°C до 213°C модуль эластичности снижается, что характеризует уменьшение склонности к излому заготовок из полипропилена.

В этой же работе показано, что вязкость заготовок из полипропилена, полученного при температуре расплава около 213°C, ниже вязкости полипропилена, полученного при температуре расплава около 193°C.

В дальнейшем нас будет интересовать возможность получения некоторых механических характеристик полипропилена без привлечения таких трудоемких испытаний как растяжение, сжатие, изгиб. Рассмотрим новую методику испытаний заготовок из полипропилена, основанную на измерении твердости по Либу.

В работе [5] введена характеристика пластичности материалов - δ_H , определяемая как доля пластической деформации в общей деформации при внедрении индентора в образец. Получено аналитическое выражение для упругой деформации ϵ_c и общей деформации ϵ на контактной площадке индентор-образец в направлении действия силы. В этой же работе приведено соотношение

$$\epsilon_c = 1,08(1 - \mu - 2\mu^2) \frac{HV}{E},$$

$$\epsilon = 1,08(1 - \mu - 2\mu^2) \frac{HV}{E} \quad (3)$$

$$\delta_H = 1 - \frac{\epsilon_c}{\epsilon}, \quad (4)$$

где μ – коэффициент Пуассона, HV – твердость по Виккерсу, E – модуль упругости в МПа, ϵ – общая деформация ($\epsilon \approx 0,076$).

В этой же работе установлено также наличие критического значения пластичности $\delta_H \approx 0,9$, достижение которой является необходимым условием для проявления пластичности при испытании материалов на растяжение и изгиб.

Из формул (3) и (4) следует, что предложенная характеристика пластичности определяется, в основном, отношением твердости к модулю упругости HV/E. Известно, что не только твердость HV, но и модуль Юнга определяют при локальном нагружении, материала индентором при использовании метода измерения твердости по глубине внедрения [6, 7]. Параметр μ оказывает более слабое влияние на пластичность ϵ_c и в большинстве случаев можно принять $\mu = 0,3$ для металлов и $\mu = 0,2$ для керамики.

Как известно, твердость обладает максимальной зависимостью - возрастает с уменьшением размера отпечатка. Это явление находит объяснение в связи с уменьшением доли пластической деформации при уменьшении размера отпечатка [8]. В связи с этим параметр δ_n также должен обладать масштабной зависимостью - снижаться при уменьшении размера отпечатка.

Используя изложенные представления о связи параметра δ_n и таких характеристик как твердость и модуль упругости в дальнейшем исследовании указанные зависимости положены в основу при изучении технологии получения ортодонтических аппаратов. С этой целью изготовили плоские квадратные образцы из полипропилена размерами 40x40x5 мм. Термопластические массы получили с помощью приспособления разработанного на кафедре стоматологии детского возраста Винницкого медицинского университета им. Н.И. Пирогова.

По методике, изложенной в [4] строили кривые течения в координатах $\sigma_i = f(\epsilon_i)$. При этом образцы для испытания изготовили по технологии при температурах расплава $t_1=173^\circ\text{C}$, $t_2=180^\circ\text{C}$, $t_3 = 191^\circ\text{C}$, $t_4=193^\circ\text{C}$, $t_5=213^\circ\text{C}$, $t_6 = 245^\circ\text{C}$ и $t_7=290^\circ\text{C}$

На **рис. 1** показаны кривые течения полипропилена, полученные при указанных выше температурах. Кривые аппроксимировали уравнением:

$$\sigma_i = A\epsilon_i^n, \quad (5)$$

где A , n - коэффициенты, имеющие физический смысл.

Так коэффициент A равен интенсивности напряжений при интенсивности деформаций равной единице; n равен критической интенсивности деформаций в момент условного максимального напряжения. В нашем случае коэффициент $A = 50$ МПа при температуре расплава $t_1=193^\circ\text{C}$ и $A= 45$ МПа при $t_2=213$ С, т.е. наблюдается снижение коэффициента A с ростом температуры расплава. На квадратных образцах, изготовленных из термопластических масс с размерами 40x40x5 мм, измеряли твердость по Либу, используя переносной твердомер - модернизированный микропроцессорный программируемый прибор ТЕМП-2 и ТЕМП-3. Указанные твердомеры предназначены для неразрушающего контроля твердости по шка-

лам Бринелля, Роквелла, Виккерса и Шора. Принцип работы прибора -динамический. Приборы зарегистрированы в государственных реестрах России, Украины и Белоруссии.

На каждой из пластин делали по 12 измерений твердости по Либу. Среднее 12 измерений принимали за число твердости данной пластины, изготовленной при одной из указанных температур расплава. Оказалось, что с увеличением температуры расплава уменьшается твердость, также как показано в работе [4] уменьшается вязкость и модуль эластичности. При этом снижение твердости следует линейному закону:

$$\Delta H=0,11\Delta t, \quad (6)$$

где ΔH – твердость, Мпа, Δt – перепад температур в градусах по Цельсию.

На **рис. 2** показана зависимость твердости от температуры расплава. Как следует из рис. 2 с увеличением температуры расплава от 193°C до 290°C твердость падает от 41 МПа до 33 МПа. Следуя работе [5] определим величину меры пластичности δ_n по формуле (3), при этом модуль Юнга E примем равным 800 МПа, постоянным для различных температур расплава.

На **рис. 3** показана зависимость δ_n от температуры расплава. Как следует из рисунка с увеличением температуры расплава, характеристика пластичности δ_n (доля пластической деформации в общей упруго – пластической деформации) возрастает.

Важным параметром, определяющим надежность и работоспособность ортодонтических аппаратов в стоматологии являются параметры вязкости (удельной потенциальной энергии, измеряемой в МПа). Величину удельной потенциальной энергии определяли интегрированием функции кривой течения материала

$$\begin{aligned} W_{уд} &= \int_0^{\epsilon_i^*} \sigma_i d\epsilon_i = A \int_0^{\epsilon_i^*} \epsilon_i^n d\epsilon_i = \\ &= A \frac{\epsilon_i^{n+1}}{n+1}. \end{aligned} \quad (7)$$

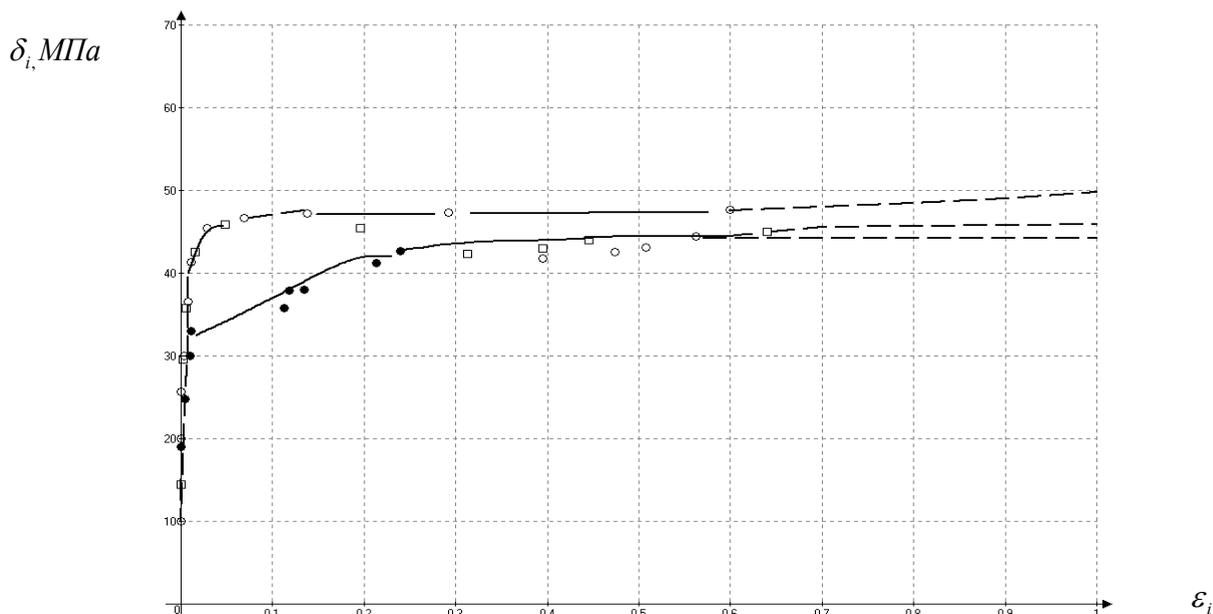


Рис. 1. Кривые течения полипропилена, полученные при различных температурах расплава

○ - 173 °C □ - 180 °C ● - 194 °C

$\left\{ \begin{array}{l} A = 50 \text{ МПа} \\ n = 0.035 \end{array} \right.$ $\left\{ \begin{array}{l} A = 47,5 \text{ МПа} \\ n = 0.072 \end{array} \right.$ $\left\{ \begin{array}{l} A = 45 \text{ МПа} \\ n = 0.12 \end{array} \right.$	$173^\circ \left\{ \begin{array}{l} W_{y\delta} = 11,5 \text{ МПа} \\ W_{y\delta} = 23,57 \text{ МПа} \\ W_{y\delta} = 35,87 \text{ МПа} \end{array} \right.$
	$194^\circ \left\{ \begin{array}{l} W_{y\delta} = 8,5 \text{ МПа} \\ W_{y\delta} = 18,49 \text{ МПа} \\ W_{y\delta} = 29,11 \text{ МПа} \end{array} \right.$
	$180^\circ \left\{ \begin{array}{l} W_{y\delta} = 10,02 \text{ МПа} \\ W_{y\delta} = 21,1 \text{ МПа} \\ W_{y\delta} = 32,55 \text{ МПа} \end{array} \right.$

○ - t=173 °C	$\sigma_{0.2} = 10 \text{ МПа}$,	A=50 МПа,	n=0,035	E'=2958 МПа
□ - t=180 °C	$\sigma_{0.2} = 14 \text{ МПа}$,	A=47,5 МПа,	n=0,072	E'=5585 МПа
● - t=194 °C	$\sigma_{0.2} = 10 \text{ МПа}$,	A=45 МПа,	n=0,12	E'=4433 МПа

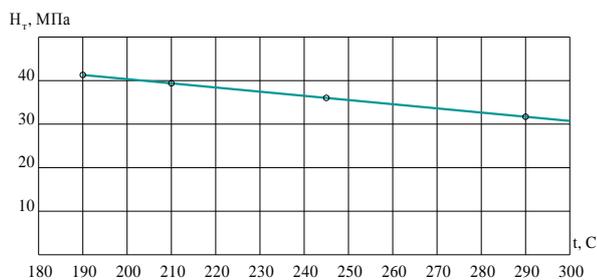


Рис. 2. Влияние температуры расплава полипропилена на твердость

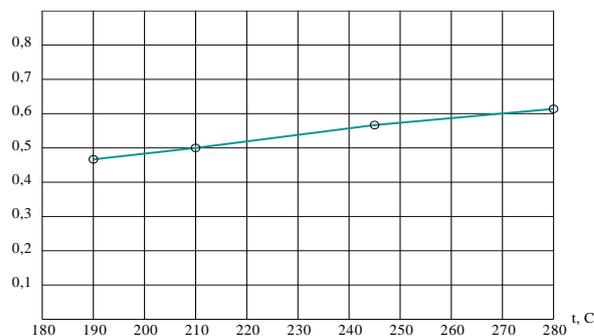


Рис. 3. Зависимость характеристики пластичности от температуры расплава

Значения W_{y0} рассчитывали для каждого испытуемого материала, полученного при температурах расплава $t=193\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=203\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t=213\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=245\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=290\text{ }^{\circ}\text{C}$. При этом верхняя граница интеграла соотношения (7) равнялась $\varepsilon_i = 0,25; 0,5; 0,75$.

ВЫВОДЫ

1. Разработана карта материалов, применяемых в стоматологии, характеризующая физико-механические характеристики термопластов – полипропиленов.

2. Наряду со стандартными характеристиками – твердость, предел прочности, временное сопротивление разрыву, предел прочности при изгибе, ударная вязкость, получены такие характеристики как кривая течения, модуль эластичности, параметры вязкости, твердость, а также, характеристика пластичности δ_n , определяемая как доля пластичности общей деформации при внедрении индентора в испытуемый образец.

3. Исследовано влияние температуры расплава полипропиленов марки „Липол“, применяемых в стоматологии и других отраслях техники, на механические характеристики, такие как твердость, пластичность, определяемая как доля пластической деформации в общей деформации. Показано, что с ростом температуры расплава заготовок твердость уменьшается, следуя линейной зависимости $\Delta H = 0,11 t\text{ }^{\circ}\text{C}$, а характеристика пластичности возрастает.

4. Показано, что рациональной с точки зрения, таких характеристик как вязкость, модуль эластичности, твердость и пластичность является температура в интервале $200\text{--}213\text{ }^{\circ}\text{C}$ при этом модуль эластичности находится в пределах, обеспечивающих уменьшение склонности полипропилена к разлому, а характеристика пластичности возрастает, при уменьшении твердости.

5. Предложен способ определения параметра пластичности измерением твердости по Либу.

6. Изучено влияние температуры расплава полипропилена на механические характеристики. Показано, что с ростом температуры расплава от $193\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $213\text{ }^{\circ}\text{C}$ модуль эластичности снижается, что характеризует уменьшение их склонности к разлому.

7. Вязкость полипропиленов, изготовленных из заготовок, температура расплава которых составила $213\text{ }^{\circ}\text{C}$, ниже вязкости полипропиленов, температура расплава которых составила $193\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Список литературы

1. Применение термопластических материалов в стоматологии. //Тригубов И.Д., Михайленко Л.В., Болдырева Р.И. и др.] - Москва, 2007 - 197с.

2. Розробка паспорту фізико-механічних властивостей стоматологічних матеріалів / В.А. Огородников, А.С. Васильчук. // Вісник Вінницького політехнічного інституту.- 2008 - №5 (80).- с. 128.

3. Огородников В.А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением / В.А. Огородников. - К.: Вища школа, 1983. - 175с.

4. Огородников В.А. Фізико-механічні характеристики термопластмас та надійність ортодонтичних апаратів / В.А. Огородников, Ю.С. Бікс, О.С. Васильчук. // Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету. Серія: Технічні науки. Вип.2.-2009-№2-с.67-71.

5. Мильман Ю.В. Характеристика пластичности, получаемая при измерении твердости. / Ю.В. Мильман, Б.А. Галанов, С.И. Чугунова. // Институт проблем материаловедения им. ИМ. Францевича АН Украины. Киев, 1992, 23с. Научное издание.

6. Галанов Б.А. Определение твердости и модуля Юнга при упругопластическом внедрении индентора в материалы. /Б.А. Галанов, О.Н. Григорьев, Ю.В. Мильман и др. //Доклады АН СССР.-1984.- 274. №4.-с.815-817.

7. Галанов Б.А. Определение твердости и модуля Юнга по глубине внедрения пирамидального индентора. /Б.А. Галанов, О.Н. Григорьев, Ю.В. Мильман, И.Л. Рагозин. //Проблемы прочности.-1983.- №11.- с. 93-96.

8. Мильман Ю.В. Зависимость твердости от нагрузки на индентор и твердость при фиксированной диагонали отпечатка. /Ю.В. Мильман. // Проблемы прочности.- 1990.-№6.-с.52 -56.

УДК 658.511.5:683

Рубин Г.Ш., Абдрахманова Р.Н.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Аннотация. Исследована возможность использования двухзвенной S-образной кривой для описания динамики производства чугуна, стали, готового проката, добычи нефти организацией ОПЕК. Установлена удовлетворительная сходимость фактических и расчетных данных.

Ключевые слова: двухзвенная S-образная кривая, технологическое прогнозирование, S – образные кривые, динамика технического параметра.

Первое упоминание об S-образном развитии систем можно отнести к середине 19 века для прогноза населения страны (Ферхюльст, Пьер Франсуа, логистические кривые) [1], кривая Гомперца (Бенджамин Гомперц, 1799-1865), кривая Перла (Раймонд Перл, 1870-1940).

В 1975 г. Г.С. Альтшуллер использовал S-образные кривые для прогнозирования развития технических систем [2].

Исследования, проводимые в различных областях знаний, показали, что модели, основанные на S-образных кривых, достаточно хорошо описывают динамику самых разнообразных природных, технико-экономических и социокультурных процессов. В монографии Дж. Мартино [3] приведены различные примеры процессов, хорошо подчиняющихся S-образной модели развития:

- увеличение веса тыквы по мере ее роста на грядке;
- количественный рост популяции дрожжевых бактерий.

Для таких кривых характерно: асимптотическое стремление к 0 при уменьшении времени t , и стремление к некоторому верхнему пределу L с ростом времени; наличие периода ускоренного роста – до момента t_b ; наличие периода замедления роста – после момента t_b .

Для описания этих зависимостей используются, в частности уравнения Перла-Рида, Гомперца.

$$P = \frac{L}{1 + a^{-bt}} \quad (1)$$

Эти формулы получены как решения дифференциальных уравнений, описывающих

развитие популяций живых организмов. Обоснования правомерности использования этих формул основано на некоторых аналогиях между биологическими, с одной стороны, и экономическими и техническими процессами, с другой стороны [3].

Одним из недостатков такого подхода является отсутствие в математической модели начала и конца процесса. В реальных процессах, развивающихся в конечный промежуток времени, невозможно интерпретировать асимптотическое стремление к какой-либо величине. Это снижает возможность использования модели, в частности, для прогнозирования исследуемых процессов. Эти соображения вызвали потребность разработать другую математическую двухзвенную S – образную модель представленную на **рис. 1** [4].

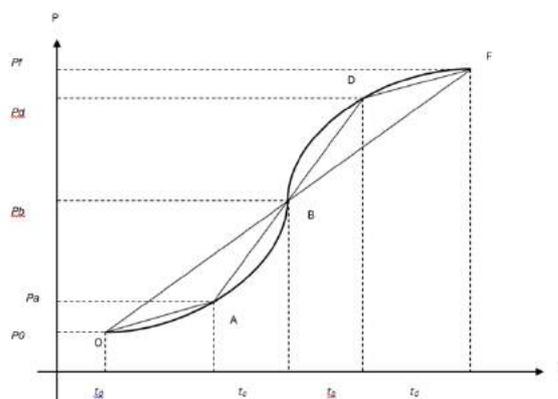


Рис. 1. Элементы двухзвенной S-образной модели

Обозначим интервал времени развития процесса $[t_0, t_f]$, соответствующие значения исследуемого показателя:

$$P(t_0) = P_0, \quad P(t_f) = P_f \quad (2)$$

$$P(t) = V \frac{(t - t_0)^2}{t_b - t_0} + P_0, \quad t_0 \leq t \leq t_b;$$

$$P(t) = -V \frac{(t_f - t)^2}{t_f - t_b} + P_f, \quad t_b \leq t \leq t_f. \quad (3)$$

где $V = \frac{P_f - P_0}{t_f - t_0}$ - средняя скорость роста показателя за период исследования.

Особенностью этой кривой является: непрерывность; плавность роста (непрерывность первой производной); наличие точек начала и конца предела; вся кривая определяется тремя реперными точками: O, A, B, C, D, F.

Авторами проведена апробация этой модели на известном статистическом материале. Рассмотрена: динамика добычи нефти организацией ОПЕК (рис. 2), динамика производства чугуна (рис. 3), стали (рис. 4) и готового проката (рис. 5). Эксперимент заключался в аппроксимации значений статистических данных и расчетных данных двухзвенной S-образной модели.

Точность приближения оценивалась по относительному отклонению в каждой точке и среднеквадратичному отклонению. Среднеквадратичное отклонение не превышает 6% по добыче нефти ОПЕК (рис. 2), 5% по производству чугуна на (рис. 3), 8,5% по производству стали (рис. 4) и 5% по производству готового проката (рис. 5), а относительное отклонение в 8 точках более 10% по добыче нефти ОПЕК, в 21 точке более 10% по производству чугуна, в 22 точках более 10% по производству стали и нет точек в которых более 10% по производству готового проката.

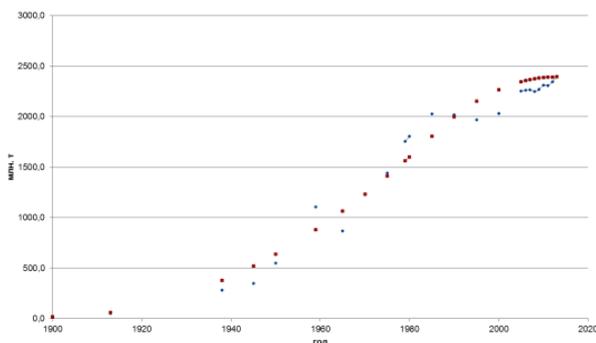


Рис. 2. Динамика добычи нефти и двухзвенной S-образной модели

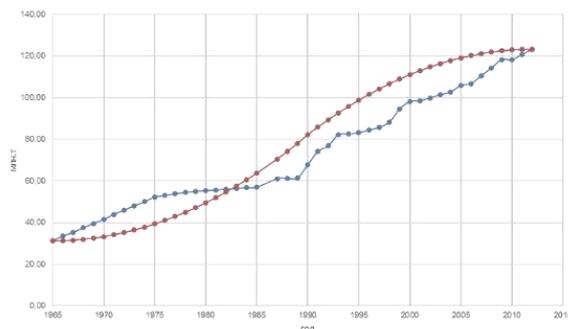


Рис. 3. Динамика производства чугуна и двухзвенной S-образной модели

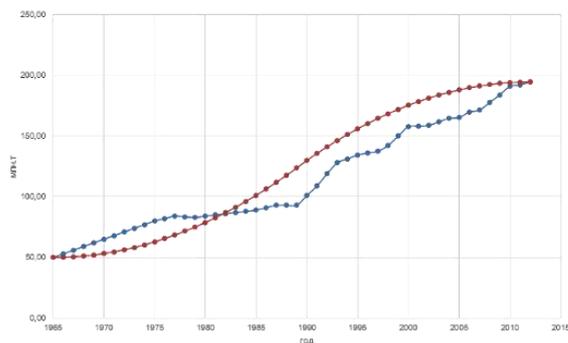


Рис. 4. Динамика производства стали и двухзвенной S-образной модели

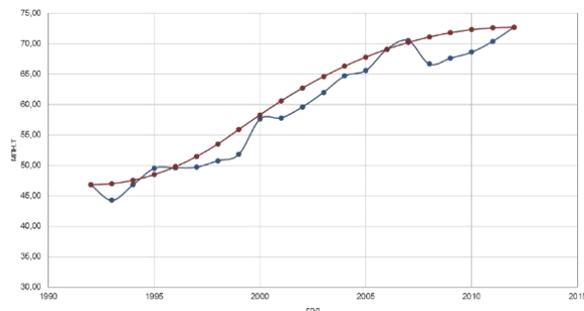


Рис. 5. Динамика производства готового проката и двухзвенной S-образной модели

В заключение следует отметить, что исследуемая модель двухзвенной S-образной модели является перспективной для дальнейших исследований. Так же данная модель может быть использована как в металлургической промышленности, так и в любой другой.

Список литературы

1. Recherches mathématiques sur la loi d'accroissement de la population, dans Nouveaux Mémoires de l'Académie Royale des Sciences et Belles-Lettres de Bruxelles, 1845, N 18, p. 1-42.
2. Альтшуллер, Г. С. Творчество как точная наука. ТРИЗ / Г. С. Альтшуллер. - М.: Советское радио, 1979. - 184 с.

3. Дж. Мартино (JOSEPH P. MARTINO), Технологическое прогнозирование, (Перевод с английского Technological Forecasting for Decisionmaking NEW YORK – 1972) ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПРОГРЕСС» МОСКВА - 1977, 592с.
4. Рубин, Г.Ш. Моделирование технологического трансформирования на основе S-образных кривых развития / Г.Ш. Рубин, М.А. Полякова, Г.С. Гун // Вестник МГТУ им. Г.И.Носова, 2015. - №1. – с. 70-75.
5. Закиров Д.М., Осипов Д.С., Гун И.Г., Сабадаш А.В., Овчинников С.В., Майстрено В.В., Мезин И.Ю. Применение логики антонимов для комплексного анализа качества автомобильного крепежа. Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. №4. С.57-62.
6. Гун И.Г. Квалиметрическая оценка и повышение результативности сквозной технологии и системы менеджмента качества производства шаровых пальцев: монография/ Гун И.Г., Михайловский И.А., Осипов Д.С. Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», Магнитогорск, 2008.
10. Гун И.Г. Комплексная оценка эффективности процессов производства шаровых пальцев: монография / И.Г. Гун, Г.Ш. Рубин, В.В. Сальников и др. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. 133 с.
11. Гун И.Г., Михайловский И.А., Осипов Д.С., Сальников В.В. Комплексная оценка результативности сквозных технологий производства с использованием логики антонимов на примере шаровых пальцев. Магнитогорск: «МГТУ им. Г.И. Носова», 2005. Т.1.
12. Гун Г.С. Создание и развитие теории квалиметрии металлургии / Г.С. Гун, Г.Ш. Рубин, М.В. Чукин, И.Ю. Мезин, А.Г. Корчунов // Вестник Магнитогорского технического университета им. Г.И. Носова. 2003. №5. С.67.
13. Рубин Г.Ш. Комплексная оценка качества стальной канатной проволоки / Г.Ш. Рубин, Г.С. Гун, Е.А. Пудов // Сталь. 1983. № 1. С. 56.
14. Гун Г.С. Оптимизация процессов ОМД по комплексному критерию качества/ Г.С. Гун, Е.А. Пудов, Иванова Л.Б. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 198. №8. С.62.
15. Гун Г.С. Управление качеством в метизном производстве / Г.С. Гун, М.В. Чукин, Г.Ш. Рубин // Металлургические процессы и оборудование. 2013. №4(34). С. 106-111.
16. Рубин Г.Ш. Разработка теории квалиметрии метизного производства / Г.Ш. Рубин, М.В. Чукин, Г.С. Гун, Д.М. Закиров, И.Г. Гун // Черные металлы. 2012. №7. С. 15-20.
17. Ушаков, С.Н. Высокопрочная арматура для железобетонных шпал нового поколения / С.Н. Ушаков, М.В. Чукин, Г.С. Гун, А.Г. Корчунов, М.А. Полякова // Путь и путевое хозяйство. 2012. № 11. С. 25-27.
18. Чукин М.В. Особенности реологических свойств конструкционных наносталей / М.В. Чукин, А.Г. Г.С. Гун, М.П. Барышников, Р.З. Валиев, Г.И. Рааб // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. №1. С.24-27.
19. Клековкина Н.А., Клековкин А.А., Никитов Б.А., Гун Г.С., Корчунов А.Г., Зюзин В.И., Кулеша В.А., Савельев Е.В., Белалов Х.Н. Производство стальной проволоки. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. МГТУ им. Г.И. Носова, 2015.

УДК 620.173.25

Железков О.С., Ширяев О.П., Малаканов С.А., Морозов Н.П., Колесников В.Д.

ВЛИЯНИЕ ТОРЦЕВОЙ ЛУНКИ НА ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЯ ГОЛОВКИ СО СТЕРЖНЕМ БОЛТА

Аннотация. Проведена серия экспериментов по оценке влияния формы и размеров торцевой лунки на прочность болтов. По результатам экспериментов определялись нормальные напряжения в резьбовом участке стержня болта и касательные напряжения на поверхности сдвига в головке. Установлены условия разрушения болтов по резьбовому участку без разрушения головки.

Ключевые слова: торцевая лунка, напряжения, разрушение, головка болта, резьба

В нормативно технической документации на стержневые крепежные изделия с многогранными головками (ГОСТ 7798-70, ГОСТ 7805-70 и др.) заложены варианты исполнения, в которых предусмотрено выполнение на торце головки лунки цилиндрической формы с диаметром $(0,7 \div 0,8)$ размера «под ключ» и глубиной $(0,2 \div 0,4)$ высоты головки. В основном, такие болты изготавливаются с использованием безоблойной штамповки [1]. Однако качество болтов, изготовленных по такой технологии, низкое в связи с плохим оформлением ребер шестигранника [2]. С целью снижения расхода металла и металлоемкости изделий без ухудшения качества предложено вначале штамповать головку с углублением на торце, а затем обрезать её на многогранник [3-6]. Процессы штамповки головок с углублением на торце по сравнению с традиционными технологиями обеспечивают снижение металлоемкости изделий и экономию металла на $2 \div 4$ % (в зависимости от длины болта). Однако при этом возникает вероятность разрушения головки в связи с возникновением высоких напряжений сдвига.

В условиях калибровочно-прессового цеха ОАО «ММК-МЕТИЗ» проведена серия экспериментов по оценке влияния формы и размеров торцевой лунки на прочность болтов. Болты М16х60 изготавливались из стали марки 20 холодной объемной штамповкой на четырехпозиционном автомате-комбайне QPBA-161 (фирма «Malmedi», Германия) по технологии, включающей подачу калиброванного металла, отрезку заготовки, предварительную высадку конической головки, окончательную высадку бочкообразной головки, редуцирова-

ние участка стержня под накатку резьбы, обрезку головки на шестигранник и накатку резьбы. У болтов на торце головки сверлением формировалась лунка в виде цилиндрического и конического участков (**рис.1**). Диаметр высота головки $H = 10$ мм, $d = 19,2$ мм, угол $\alpha = 6^\circ$, высота h цилиндрического участка лунки варьировалась в диапазоне $3,22 \div 7,32$ мм (**табл. 1**).

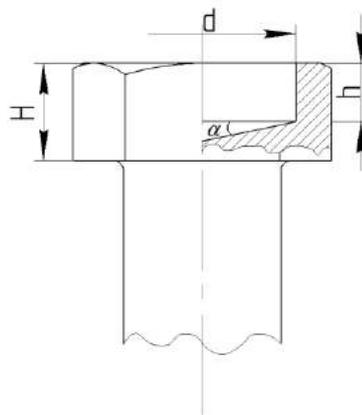


Рис. 1. Головка болта с торцевой лункой

Испытания болтов проводились в ЦЗЛ ОАО «ММК-МЕТИЗ» с использованием поверенной испытательной машины EU-100 (Германия). На **рис. 2** представлены фотографии разрушившихся болтов.

По результатам экспериментов определялись нормальные напряжения в резьбовом участке стержня болта и касательные напряжения на поверхности сдвига в головке.



Рис. 2. Фотографии разрушившихся болтов:
а – разрушение по резьбе ($h = 5,42 \div 6,48$ мм);
б – разрушение по головке ($h = 7,24 \div 7,32$ мм)

Напряжения в резьбовом участке

$$\sigma = \frac{P}{A_p}, \quad (1)$$

где $A_p = 157 \text{ мм}^2$ – площадь поперечного сечения резьбы М16.

Касательные напряжения на поверхности сдвига в головке

$$\tau = \frac{P}{A_{cp}}, \quad (2)$$

где $A_{cp} = \pi d_c (H - h)$ – площадь поверхности среза.

Результаты испытаний и полученные данные представлены в табл.1.

Таблица 1

Результаты испытаний на прочность болтов с торцевой лункой на головке

Высота цилиндрического участка лунки, мм	№ образца	Усилие разрушения, кН	Место разрушения	Напряжения, МПа	
				σ	τ
3,22	1	10,2	Резьба	64,97	29,93
3,30	2	10,0		63,69	29,69
3,25	3	10,1		64,33	29,77
4,50	1	10,1	Резьба	64,33	36,53
4,33	2	10,0		63,69	35,09
4,41	3	9,9		63,09	35,23
5,32	1	10,0	Резьба	63,69	42,51
5,42	2	10,2		64,97	44,31
5,36	3	10,0		63,69	42,87
6,48	1	9,8	Резьба	62,42	55,38
6,53	2	8,0	Головка	50,96	45,86
6,45	3	10,1	Резьба	64,33	56,60
7,24	1	5,9	Головка	37,58	42,59
7,32	2	6,0		38,21	44,53
7,27	3	5,9		37,58	42,99

Выводы

1. Болты с торцевой лункой в виде цилиндрического и конического участков при

относительной высоте цилиндрического участка к высоте головки (h / H) менее $0,55 \div 0,60$

разрушаются по резьбовому участку без разрушения головки.

2. В случае применения безоблойной штамповки за счет формирования в головке болта лунки рекомендованной формы и размеров можно улучшить качество формирования ребер шестигранника и снизить расход металла на 2÷4 %.

Список литературы

1. Мокринский В.И. Производство болтов холодной объемной штамповкой. – М.: Металлургия, 1978. С. 78.
2. Мокринский В.И., Железков О.С. Новые прогрессивные виды и технологические процессы изготовления крепежных изделий / Сер. Метизное производство. Вып. 2. - М.: Ин-т Черметинформация, 1990. С. 22.
3. Железков О.С., Морозов Н.П., Семашко В.В. Малоотходные технологии изготовления крепежных изделий с головками / Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением.

Сб. науч. тр. под ред. В.М.Салганика.- Магнитогорск, Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та. им. Г.И.Носова.2011. С.135-139.

4. Железков О.С., Семашко В.В., Морозов Н.П. Перспективные способы снижения расхода металла при изготовлении стержневых крепежных изделий / Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. Материалы 69 –ой науч.-техн. конф. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та. им. Г.И.Носова, 2011. - С.173-177.

5. Железков О.С., Семашко В.В. Совершенствование конструкции инструмента для обрезки граней головок клеммных болтов / Вестник МГТУ им. Г.И.Носова. 2010. № 4. С. 41-43.

6. Железков О.С., Семашко В.В., Морозов Н.П. Разработка малоотходных способов изготовления стержневых крепежных изделий / Тезисы доклада Международного форума «Реконструкция промышленных предприятий – прорывные технологии в металлургии и машиностроении» – Челябинск: Изд-во Магнитогорск, гос. техн. ун-та. им. Г.И.Носова, 2011. С.54-56.

УДК 621.771.25:669.017:669.15

Сычков А.Б., Малашкин С.О.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОДНОРОДНОЙ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КАТАНКИ ДВУСТАДИЙНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Аннотация. Проведено математическое моделирование режимов охлаждения катанки из стали марок 80P и Св-08ГНМ, производимые на линии Stelmor. Получены структуры однородного сорбитообразного перлита для стали 80P и крупного ферритного зерна без закалочных структур для стали Св-08ГНМ, выданы рекомендации по коррекции технологии двустадийного охлаждения катанки.

Ключевые слова: сталь, модифицирование, микролегирование, катанка, проволока, структура, свойства, математическое моделирование, Deform 3D, кинетика охлаждения, Stelmor.

В данной статье рассматривается выбор эффективной технологии термической обработки катанки диаметром 16 мм из стали 80P и 5,5 мм из стали Св-08ГНМ на линии Stelmor, основываясь на математическом моделировании процессов охлаждения металла в программной среде Deform 3D - Heat Treatment [1]. Математическое моделирование фазовых превращений, формирования микроструктуры, распределения температур по сечению в течение всего периода охлаждения позволяет подобрать научно-обоснованную технологию

термической обработки, исключая эмпирические ошибки.

Применяемая в настоящее время технология термической обработки (ТО) катанки из стали 80P диаметром 16 мм на линии Stelmor представляет собой использование тепла прокатного нагрева металла с окончанием деформации после водяного охлаждения в аустенитном состоянии при температуре 840-880°С с дальнейшим охлаждением 15-тью вентиляторами мощностью по 110 кВт со скоростью роликового транспортера 0,15 м/с. Данный вари-

ант технологии ТО не обеспечивает получение однородной структуры сорбитообразного перлита 1 балла по ГОСТ 8233-56, в связи с низкими мощностью и КПД вентиляторных систем. Для решения производственной задачи были представлены рекомендации, заключающиеся в увеличении температуры аустенитизации до 950-980°C, скорости роликового транспортера до 0,5-0,8 м/с и заменой вентиляторов на новые мощностью до 200 – 220 кВт с КПД 90-95 % вместо 30-35 % [2-5].

При производстве катанки 5,5 мм из стали СВ-08ГНМ не обеспечивается полная герметизация квазиизотермического туннеля под теплоизолирующими крышками с целью длительной выдержки витков катанки для получения эффективной относительно крупнозернистой ферритной структуры без мартенситно-бейнитных участков (БМУ). Нами [6-8] реко-

мендуется технология термической обработки в виде охлаждения катанки с температуры аустенитизации 950-980°C путем транспортирования витков по роликовому транспортеру с низкой скоростью 0,08-0,12 м/с (скорость охлаждения – не более 0,3°C/с) и полной герметизацией витков под теплоизолирующими крышками, с целью достижения квазиизотермической выдержки при 650 -700°C. Данный процесс обеспечивает получение крупного ферритного зерна, минимизирует или исключает наличие БМУ.

Для подтверждения вышеуказанных предположения провели математическое моделирование термо-временных процессов охлаждения катанки в программной среде DEFORM 3D-HEAT TREATMENT. Результаты моделирования представлены на **рис. 1**.

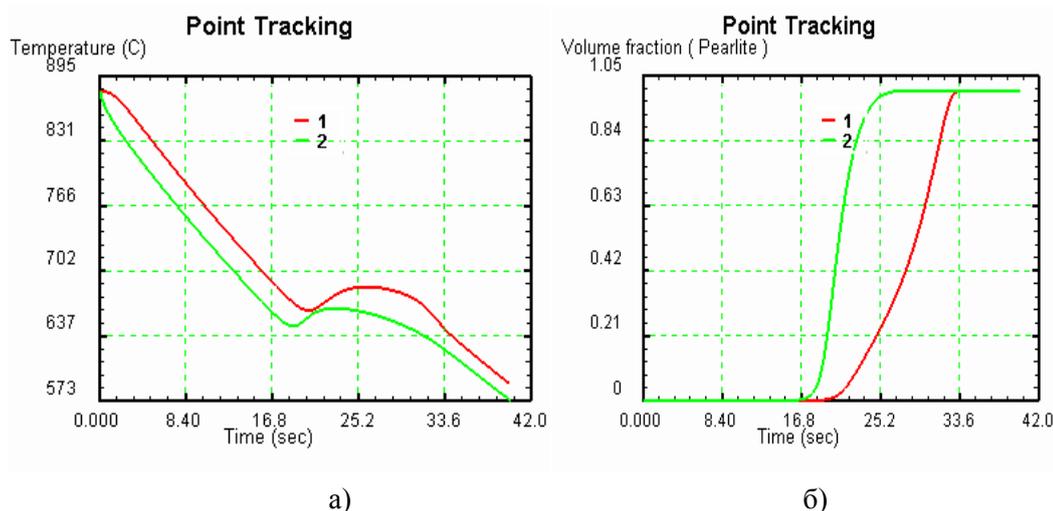


Рис. 1. График диффузионного превращения (а) и кривые охлаждения по сечению (б) стали 80Р по действующей технологии ТО на линии Stelmor (1 – центр катанки диаметром 16 мм; 2 – поверхности катанки)

Согласно графику на **рис. 1, а**, диффузионное превращение по сечению катанки 80Р диаметром 16 мм заканчивается после 33 секунды, что подтверждается рекалесценцией с 20-ой по 33-ю секунду на **рис.1, б**. В целом, теоретически этот режим термической обработки удовлетворяет условию получения структуры сорбитообразного перлита. Однако, при скорости роликового транспортера 0,15 м/с существует проблема наложения боковых витков друг на друга на линии Stelmor, что приводит к значительно неоднородным условиям охлаждения металла по длине витка и бунта и требует либо увеличения скорости транспортера, либо более интенсивного и дифференцированного по ширине роликового

транспортера воздушного охлаждения. Эта проблема препятствует образованию требуемой структуры однородного сорбитообразного перлита и свойств металла по длине витка бунтового проката.

На **рис. 2, а** представлена кривая структурного превращения по сечению бунтового проката по рекомендуемому режиму воздушного охлаждения на линии Stelmor. Увеличение мощности вентиляторной системы от 50 до 200 кВт уменьшает время полного диффузионного превращения до 23 секунд, что создает условия для увеличения скорости роликового транспортера и снимает влияние наложения витков о чем свидетельствует и рекалесценция с 17-ой по 23-ю секунду на **рис. 2, б**.

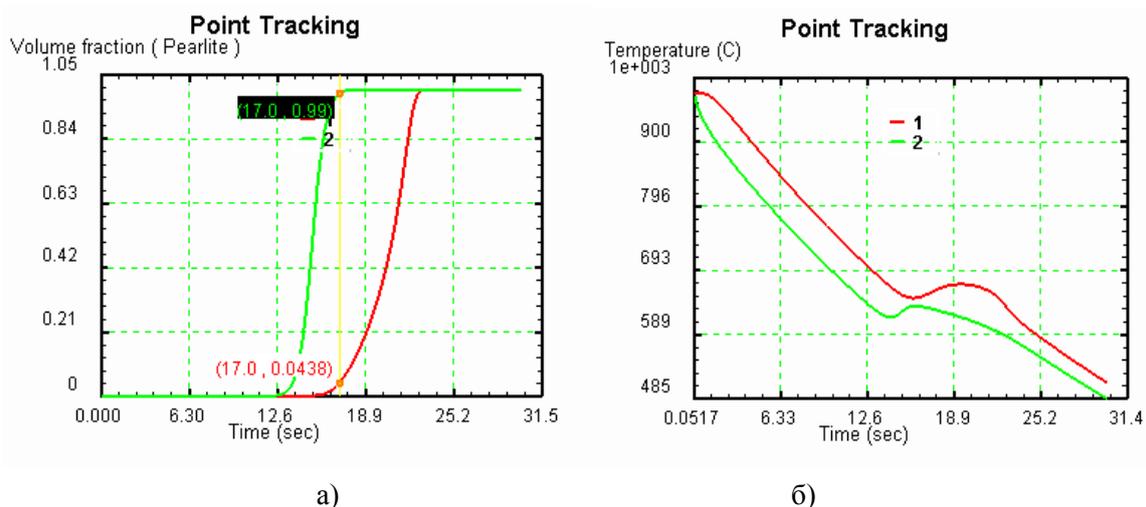


Рис. 2. График диффузионного превращения (а) и распределения температур по сечению (б) стали 80P порекомендованной технологии ТО на линии Stelmor (1 – центр катанки; 2 – поверхности катанки)

Структура сорбитизированного перлита или перлита 1 балла обеспечивает сочетание высоких значений прочности и пластичности, а также высокую деформируемость катанки и проволоки при волочении. В прокате из стали 80P не допускается наличие неравномерной структуры по сечению и ликвационного структурно-свободного цементита, что приводит к охрупчиванию проката.

Опробование предложенных режимов и металлографический анализ (рис. 3) показал, что по сравнению с резко неоднородной структурой проката диаметром 15,5-16,0 мм, произведенной по схеме 1 обработки на линии Stelmor ($t_{в/у} = 840-880^{\circ}\text{C}$, $V_{тр} = 0,15$ м/с, в работе 14 вентиляторов) и улучшенной технологи-

ческой схемой 2 ($t_{в/у} = 840-880^{\circ}\text{C}$, $V_{тр} = 0,15$ м/с, все вентиляторы отключены – фактически это режим прокатной нормализации), опытный режим ($t_{в/у} = 900-940^{\circ}\text{C}$, $V_{тр} = 0,5-0,8$ м/с, в работе 14 вентиляторов с максимальной нагрузкой) характеризуется максимальной однородностью структуры, высокой дисперсностью перлита: межпластинчатое расстояние в перлите по режимам соответственно составило 0,28 мкм при прокатной нормализации, 0,23 мкм при скорости транспортера 0,5 м/с и повышенной температуре виткообразования и охлаждении вентиляторами, 0,15 мкм при скорости транспортера 0,8 м/с и повышенной температурой виткообразования и охлаждении вентиляторами.

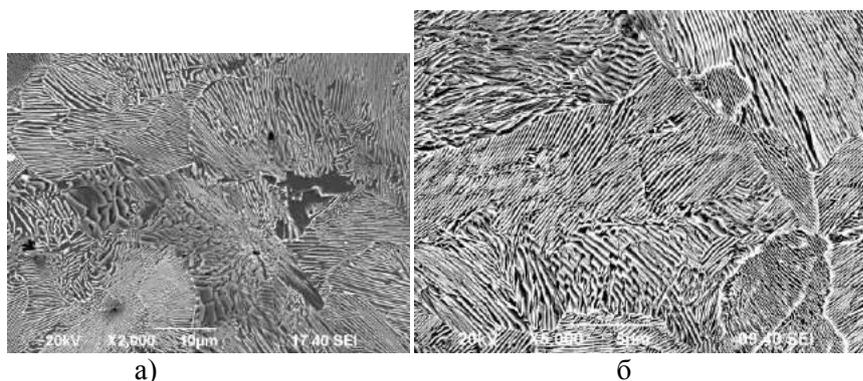


Рис. 3 - Микроструктура стали 80P:
а) микроструктура по действующему режиму охлаждения (0,3 мкм);
б) микроструктура по рекомендованному режиму охлаждения (0,15 мкм).
 (Исследование проведено под руководством Н.В. Кошцевой)

Получение в катанке из стали Св-08ГНМ крупного ферритного зерна без бейнитно-мартенситных участков, достигаемое путем длительной квази- и изотермической выдержки под теплоизолирующими крышками, обеспечивает последующее волочение катанки без начальной или промежуточной разупрочняющей термической обработки.

Математическое моделирование (рис. 4) показывает, что возможно появление троостита после 136-ой секунды, но в целом процесс изотермической выдержки сводится к сохранению крупного ферритного зерна.

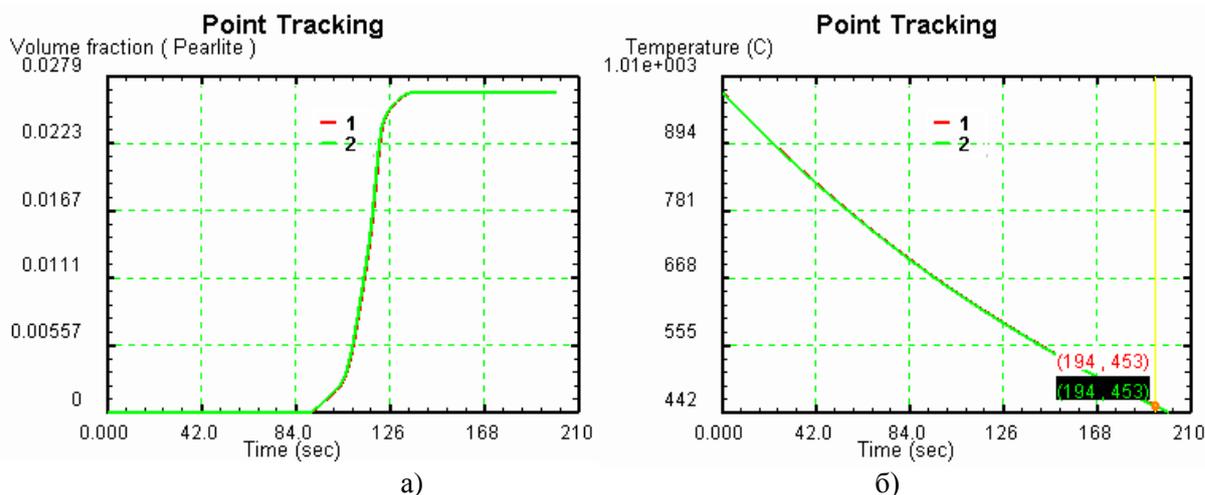


Рис. 4. График диффузионного превращения (а) и распределения температур по сечению (б) стали Св-08ГНМ диаметров 5,5 мм по рекомендованной технологии ТО на стане 170 (1 – центр; 2 – поверхность)

Результаты исследований микроструктуры представлены на рис. 5, которые показывают, что предложенные рекомендации обеспечиваются по мере увеличения температуры аустенитизации и замедления скорости роликового транспортера. Наличие в структуре стали (рис. 5, б) БМУ и трооститных участков возможно снижением скорости охлаждения или обеспечением изотермической выдержки металла под крышками, чему будет способствовать полная герметизация теплоизолирующего тоннеля.

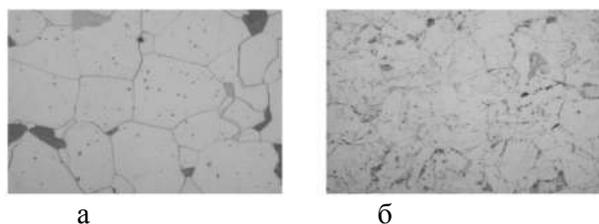


Рис. 5. Микроструктура стали Св-08ГНМ:
а) $t_{в.у.} = 1000^{\circ}\text{C}$ - № 9-8,
б) $t_{в.у.} = 850^{\circ}\text{C}$ - №10-11 (ГОСТ 5639-82).
Увеличение: $\times 1000$

Результаты математического моделирования кинетики охлаждения катанки из стали Св-08ГНМ показывают, что самые высокие

показатели пластических характеристик соответствуют изотермической выдержке в интервале температур $600-700^{\circ}\text{C}$ в течение 20-30 мин, причем выдержка в течение 30 мин влияет в большей степени. Такие температурно-временные параметры обработки в максимальной мере способствуют превращению аустенита в феррит и перлит.

Исходя из вышеизложенных теоретических представлений, математического моделирования процессов термической обработки в среде Deform 3D проката из низкоуглеродистой легированной стали сварочного назначения Св-08ГНМ и высокоуглеродистой стали ответственного назначения 80P, можно прийти к выводу, что предложенные рекомендации по коррекции режимов термической обработки эффективны, что доказывается промышленным экспериментом на линии Stelmor.

Список литературы:

1. Лицензия: Machine 38808. «DEFORM» [Электронный ресурс].-Режим доступа.- <http://www. «DEFORM».com/products/ «DEFORM»-3d/>.
2. Сычков А.Б., Малашкин С.О. Выбор технологии термомеханической обработки арматурного проката. – Теория и технология металлургиче-

ского производства. Сб. научн. трудов. – Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2013. С. 53-54.

3. Сычков А.Б., Малашкин С.О., Макарушина О.Б. Влияние качественных параметров непрерывно-литой заготовки и технологии термической обработки на структуру и свойства бунтового проката. – Литейные процессы. Сб. научн. трудов. – Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2013. С. 175-178.

4. Высокоуглеродистая катанка для производства высокопрочных арматурных канатов/А.Б. Сычков, М.А. Жигарев, А.М. Нестеренко, С.Ю. Жукова, А.В. Перегудов. – Бендеры: Полиграфист, 2010. 280 с.

5. Повышение качества высокоуглеродистой катанки на базе совершенствования сквозной технологии выплавки стали, ее внепечной обработки, непрерывной разливки, производства сортового

проката и метизного производства. – Отчет о НИР по договору между ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова» и ОАО «ММК» № 201534 от 28.05.2012 (тема 2012-19), рук-ль Сычков А.Б. – Магнитогорск, 2013. 117 с.

6. Тонкая микроструктура катанки из стали Св-08Г2С повышенной деформируемости/А.М. Нестеренко, А.Б. Сычков, С.Ю. Жукова, В.И. Сухомлин. – Металлург. 2008. № 9. С. 48-51.

7. Нестеренко А.М., Сычков А.Б., С.Ю. Жукова. Исследование причин разрушения при волочении катанки-проволоки из стали Св-08Г2С. – Металлургическая и горнорудная промышленность. 2006. № 6. С. 60-63.

8. Структура и свойства катанки для изготовления электродов и сварочной проволоки/ А.Б. Сычков, В.В. Парусов, А.М. Нестеренко, С.Ю. Жукова, М.А. Жигарев, А.В. Перчаткин, А.В. Перегудов, И.Н. Чуйко. - Бендеры: Полиграфист, 2009. 608 с.

УДК 658.562.012.7: 66.046.516

Саранча С.Ю., Зайцев Д.А.

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Аннотация. Задача получения конструкционных сталей высокого качества на сегодняшний день является актуальной, так как существует тенденция снижения металлоемкости конструкций с ужесточением требований к прочности, свариваемости и коррозионной стойкости. Для решения данной задачи необходима не только разработка новых марок сталей, но и прогнозирование их качества. При этом задача оценки качества металлопродукции требует разработки универсальной методики, позволяющей на основе различных критериев спрогнозировать и оценить качество требуемой марки стали. Поскольку для осуществления комплексного анализа эксплуатационных характеристик стали необходимо произвести значительный объем расчетов, то встает вопрос об информатизации процесса - разработка программного обеспечения для ЭВМ позволит не только автоматизировать и ускорить процесс анализа, но и собирать статистическую информацию для дальнейших исследований.

Ключевые слова: свариваемость, коррозионная стойкость, углеродный эквивалент, трещинообразование, информационные технологии, качество, оценка качества, прогнозирование эксплуатационных свойств.

На сегодняшний день вопросы качества металлопродукции имеют высокий приоритет, а в свете сложной экономической ситуации данная тенденция лишь усиливается. При этом для обеспечения высокой конкурентоспособности необходимо не только повышать качество готовой продукции, но и расширять ее эксплуатационные свойства. Одновременно с этим существует тенденция снижения металлоемкости конструкций, деталей и узлов, что требует в свою очередь повышения прочностных характеристик проката [1-5]. Необходимо

также понимать, что для расширения рынка сбыта предприятие должно не только осваивать новые регионы, в том числе и малоосвоенные регионы с экстремальными климатическими условиями, но и новые направления, например, эксплуатация металлоконструкций в агрессивных средах. Данная задача накладывает жесткие требования на эксплуатационные характеристики и качество стали [6,7].

Таким образом, к современным сталям для сварных конструкций предъявляются следующие требования: прочность, пластичность,

сопротивление хрупкому разрушению, свариваемость и коррозионная стойкость. Причем следует также понимать, что качественные стали с высокими эксплуатационными характеристиками дороги в производстве и для их удешевления необходимы оптимизации технологических процессов. Например, для обеспечения коррозионной стойкости металлоконструкций часто используют различные антикоррозионные покрытия, в том числе лакокрасочные. Применение антикоррозионных покрытий, как правило, влечёт за собой большие финансовые затраты. Поэтому, в ряде случаев, коррозионную стойкость металла целесообразно сформировать ещё на стадии выплавки стали и производства готового проката, что хорошо вписывается в концепции бережливого производства и 6 сигм, при этом повышается не только рентабельность предприятия, но и конкурентоспособность. Причем как показали исследования, использование современных

информационных технологий позволяет эффективно управлять качеством процессов на предприятии [8].

Рассмотрим наиболее популярные критерии оценки качества конструкционных сталей: коррозионная стойкость, свариваемость, коэффициент интенсивности жесткости, сопротивление образованию холодных трещин, твердость зоны термического влияния, показатели вероятности возникновения горячих трещин, сопротивляемость трещинам.

Коррозионная стойкость

В качестве показателя атмосферостойкости низколегированных сталей используется индекс коррозионной стойкости (CI), который рассчитывается на основе химического состава плавки по методу, предусмотренному стандартом ASTM G101 и основанному на данных Лараби (Larabee) и Кобурна (Coburn) [9]:

$$CI = 26,01 \times Cu + 3,88 \times Ni + 1,20 \times Cr + 1,49 \times Si + 17,28 \times P - 7,29 \times Cu \times Ni - 9,10 \times Ni \times P - 33,39 \times Cu^2 \quad (1)$$

Данная формула применяется для расчёта коррозионной стойкости американских сталей, производимых по стандартам ASTM. Эти марки являются аналогами отечественных, изготавливаемых согласно ГОСТ 19281-89.

Свариваемость

Очень важным технологическим свойством сталей, во многом определяющим надёжность металлических конструкций, является свариваемость, под которой понимают способность стали образовывать сварные соединения, эксплуатационные свойства которых близки к свойствам основного металла. Необходимо также учитывать, что сварные работы накладывают требования не только на саму сталь и ее свойства, но и на режимы охлаждения и нагрева, несоблюдение которых приводит к возникновению холодных и горячих трещин.

Холодные трещины образуются в результате закаливания стали при быстром охлаждении. Оценить риск развития холодных трещин позволяет углеродный эквивалент (C_3), который используется в качестве критерия свариваемости. Данный показатель определяется формулами, где каждый элемент оценивается по склонности к образованию мартенсита в сравнении с углеродом с помощью отдельного коэффициента [10].

Существует четыре наиболее известные методики определения углеродного эквивалента:

1. В отечественных стандартах на строительные стали (ГОСТ 27772-88, ГОСТ 19281-89) величина C_3 определяется по выражению, принятому в WES 135:

$$C_3 = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{40} + \frac{Mo}{4} + \frac{V+Nb}{14} + \frac{Cu}{13} + 5B + \frac{P}{2} \quad (2)$$

2. Европейская ассоциация сварщиков определяет C_3 по следующей формуле:

$$C_9 = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + V + Nb}{5} + \frac{Cu + Ni}{15} \quad (3)$$

3. В соответствии с нормативной документацией Японии углеродный эквивалент рассчитывают по следующей формуле:

$$C_9 = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} \quad (4)$$

4. Нормы РЖД для сталей, используемых в подвижном составе, предусматривают расчёт углеродного эквивалента:

$$C_9 = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + V}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Ni + Ca}{15} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} \quad (5)$$

На основе углеродного эквивалента стали делятся на 4 группы:

I группа ($C_9 < 0,2$):

- свариваемость хорошая;
- желательна термообработка после сварки.

II группа ($C_9 = 0,2 - 0,35$):

- свариваемость удовлетворительная;
- необходим подогрев перед сваркой;
- желательна термообработка перед сваркой;
- необходима термообработка после сварки.

III группа ($C_9 = 0,35 - 0,45$):

- свариваемость ограниченная;
- необходимы подогрев и термообработка перед сваркой;
- желателен подогрев во время сварки;
- необходима термообработка после сварки.

IV группа ($C_9 > 0,45$):

- необходимы подогрев и термообработка перед сваркой;
- необходим подогрев во время сварки;
- необходима термообработка после сварки.

Иную классификацию сталей по свариваемости предлагает британская ассоциация по исследованиям в области сварки (BWRA – British Welding Research Association) [11]. Углеродный эквивалент по методу BWRA рассчитывается по формуле:

$$C_9 = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Cr}{10} + \frac{Mo}{10} + \frac{V}{10} + \frac{Ni}{15} \quad (6)$$

В соответствии с данным методом стали классифицируются на 5 групп:

I группа ($C_9 < 0,25$):

- сталь не склонна к образованию холодных трещин;
- сваривается без подогрева.

II группа ($C_9 = 0,25 - 0,3$):

- сталь склонна к образованию холодных трещин;
- сваривается с подогревом от 25 до 125 °С.

III группа ($C_9 = 0,3 - 0,35$):

- сталь склонна к образованию холодных трещин;
- сваривается с подогревом от 50 до 175 °С.

IV группа ($C_9 = 0,35 - 0,4$):

- сталь склонна к образованию холодных трещин;
- сваривается с подогревом от 75 до 200 °С.

V группа ($C_9 = 0,4 - 0,45$):

- сталь склонна к образованию холодных трещин;
- сваривается с подогревом от 100 до 225 °С.

Как видно из представленной классификации, важным аспектом при сварке является температура подогрева, соблюдение которой необходимо для получения качественного сварного шва. Для расчета необходимой температуры подогрева можно использовать следующую формулу:

$$T = 350 \cdot (C_{06} - 0,25)^{\frac{1}{2}}, \quad (7)$$

где C_{06} - общий углеродный эквивалент, который рассчитывается по формуле:

$$C_{06} = C_9 \cdot (1 + 0,005 \cdot \delta), \quad (8)$$

где C_9 - углеродный эквивалент, вычисляемый по одной из выше представленных формул (2 - 5); δ - толщина металла свариваемой детали, мм.

Коэффициент интенсивности жёсткости.

Также на образование холодных трещин в значительной степени влияют остаточные напряжения после сварки, которые зависят от многих факторов. К таким факторам относятся жёсткость свариваемой части конструкции, толщина и тип сварного соединения. Данные напряжения могут выражаться с помощью ко-

эфициента интенсивности жёсткости K , который представляет собой силу, раскрывающую зазор на 1 мм в сварном соединении длиной 1 мм [Н/(мм × мм)]. Коэффициент интенсивности жёсткости вычисляется по формуле:

$$K = K_q \cdot S, \quad (9)$$

где K_q - постоянная, равная 69; S - толщина листа, мм.

$$P_{cm} = C + \frac{Si}{30} + \frac{(Mn + Cu + Cr)}{20} + \frac{(V + Mo)}{15} + \frac{Ni}{60} + 5 \cdot B. \quad (10)$$

На основе коэффициентов K и P_{cm} рассчитывается критерий трещинообразования P_c :

$$P_c = P_{cm} + \frac{H}{60} + 0,25 \cdot \frac{K}{105}, \quad (11)$$

где H - количество диффузионного водорода в металле сварного шва.

Твёрдость зоны термического влияния.

Помимо углеродного эквивалента и критерия трещинообразования важным параметром свариваемости является твёрдость зоны термического влияния. Зона термического влияния (ЗТВ) при сварке - это не подвергаю-

Представленная формула актуальна при толщине листа не более 150 мм.

Сопротивление образованию холодных трещин.

Сопротивление образованию холодных трещин при сварке также характеризует коэффициент P_{cm} , который вычисляется по уравнению Ито-Бессю:

щийся расплавлению участок основного металла, структура и свойства которого изменились. Данный участок имеет место при любых видах сварки, за исключением холодной, которая применяется, как правило, для соединения разнородных металлов.

При сварке в зоне термического влияния происходит изменение структуры и свойств металла, а именно, повышается твёрдость металла, и снижаются его пластические характеристики. Сталь становится склонной к образованию холодных трещин и разупрочнению.

Максимальная твёрдость ЗТВ у низколегированных сталей рассчитывается на основе химического состава по следующей формуле:

$$HV_{max} = 90 + 1050 \cdot C + 47 \cdot Si + 75 \cdot Mn + 30 \cdot Ni + 31 \cdot Cr. \quad (12)$$

Если значение данного показателя превышает 350, то металл ЗТВ становится склонным к образованию холодных трещин.

Показатели вероятности возникновения горячих трещин

Что касается горячих трещин, то они образуются в результате действия внутренних и внешних напряжений в металле, которые в свою очередь вызваны дефектами кристаллического строения, появлением в структуре металла легкоплавких эвтектик и выделением хрупких фаз. Данные трещины образуются в процессе сварки в области высоких температур, близких к температуре плавления. Вероятность возникновения горячих трещин при сварке определяется по показателю Уилкинсона (H.C.S), который вычисляется по формуле:

$$H.C.S. = 1000 \cdot C \cdot \frac{(S + P + \frac{Si}{25} + \frac{Ni}{100})}{(3 \cdot Mn + Cr + Mo + V)}. \quad (13)$$

Склонность стали к образованию горячих трещин также показывает критерий $P_{гт}$, рассчитываемый по формуле:

$$P_{гт} = 230 \cdot C + 190 \cdot S + 75 \cdot P - 1. \quad (14)$$

Сопротивляемость трещинам.

Сопротивляемость стали трещинам при термической обработке оценивается по пара-

метру ΔG , который рассчитывается по формуле:

$$\Delta G = Cr + 3,3 \cdot Mo + 8,1 \cdot V - 2. \quad (15)$$

Сталь становится склонной к образованию горячих трещин при повторном нагреве в процессе термической обработки, если значение $\Delta G < 0$.

В заключении следует отметить, что сейчас существует множество различных методик прогнозирования эксплуатационных свойств сталей, что усложняет их анализ - ярким примером является углеродный эквивалент, определить который можно разными способами, при этом каждый из них обеспечивает приемлемую точность лишь для определенных марок стали.

Таким образом, для получения полной информации о свариваемости и коррозионной стойкости конструкционных сталей необходимо рассчитывать представленные выше показатели, расчет и анализ которых связан с большим объемом вычислений, поэтому логическим продолжением исследований эксплуатационных характеристик конструкционных сталей является разработка программного обеспечения для ЭВМ, которое будет быстро производить анализ требуемых марок стали и накапливать статистические данные для последующих исследований. Как показывают исследования внедрение и использование современных информационных технологий позволяет повысить эффективность металлургического производства, что делает разработку программного обеспечения, предназначенного для анализа и прогнозирования эксплуатационных характеристик сталей, целесообразной [12-14].

Список литературы:

1. А.В. Козлов. Стальной прокат для мостостроения США и Японии // Производство проката. 2004. № 5. С. 42-47.
2. В.В. Гейер, Т.Н. Потапова, В.Н. Никитин, С.И. Киселёв. Разработка и изготовление высокопрочных свариваемых сталей с пределом текучести от 600 до 950 Н/мм² // Металлург 2005 год. № 6. С. 55-58.
3. Г.-Ю. Кайзер, А. Керн, Р. Гриль, Х. Шлоссер, Ф. Шрётер. Толстые листы из особых конструкционных сталей для удовлетворения высочайших требований // Чёрные металлы. 2008. № 9. С. 41-47.
4. Л.М. Клейнер, С.К. Гребенщиков, М.Г. Закирова, И.В. Толчина, И.В. Ряпосов. Технологические свойства сталей мартенситного класса // Металловедение и термическая обработка металлов. 2010. № 11. С. 26-29.
5. E.De Moor, P.J. Gibbs, J.G. Speer et al. Стратегия разработки новейших высокопрочных сталей третьего поколения // Новости чёрной металлургии за рубежом. 2011. № 3. С. 70-75.
6. А. Кручинкин, И. Пемов. Сталь для мостов: необходимость обновления // Металлы Евразии. 2010. № 4. С.42-45.
7. И.П. Шабалов, Е.К. Шафигин, П.Д. Одесский. О некоторых требованиях к современным сталям для магистральных трубопроводов // 2010. № 12. С. 54-60
8. Саранча С.Ю., Левандовский С.А., Стаценко Ю.С., Моллер А.Б. Информационные технологии как инструмент управления качеством раскроя готовой продукции и эффективностью сортопрокатного производства // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. 2014. Том 2, №4. С54-56.
9. D. Bai, T. Nelson, R. Bondar et al. Разработка на фирме «SSAB North America» сталей с высокими характеристиками для конструкции мостов // Новости чёрной металлургии за рубежом. 2010. № 6. С. 67-70.
10. И.П. Шабалов, З.К. Шафигин, А.Н. Муратов. Ресурсосберегающие технологии производства толстолистового проката с повышенными потребительскими свойствами. – М.: Металлургиздат, 2007. 351 с.
11. Л.А. Ефименко, О.Ю. Елагина, Е.М. Вышемирский. Особенности подхода к оценке свариваемости низкоуглеродистых высокопрочных трубных сталей // Сварочное производство. 2010. №5. С. 5-10.
12. Саранча С.Ю., Моллер А.Б. Разработка и внедрение информационных технологий в сортопрокатное производство: оптимизация алгоритмов раскроя // Сталь. №11. 2014. С35-38.
13. Саранча С.Ю., Левандовский С.А., Моллер А.Б. Информационные технологии как инструмент управления качеством раскроя продукции и эффективностью сортопрокатного стана // Качество в обработке материалов. 2014. №2. С.88-91.
14. Sarancha S.Yu., Levandovskiy S.A., Moller A.B., Statsenko J.S. Information technology and Juran's spiral of quality as a continuous process of improving the efficiency of section-rolling mill // Калибровочное бюро. 2015. №5. С.30-44

УДК 628.168.4

Понурко И.В., Костина З.И., Крылова С.А., Шабалин Е.И.

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ФОСФАТНОЙ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЖАРНО-ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Аннотация. Представлены результаты исследования свойств фосфатной композиции, предназначенной для улучшения качества обрабатываемой пожарно-питьевой воды и комплексной защиты элементов водонагревательных систем от коррозии, солеотложений (накипи), эвтрофикации.

Ключевые слова: фосфатная композиция, растворимость, обработка пожарно-питьевой воды, комплексная защита, коррозия, солеотложения (накипь), эвтрофикация, элементы водонагревательных систем.

В водонагревательных системах заполняющая пожарно-питьевая вода циркулирует постоянно, поэтому нет возможности удалять накапливающийся шлам, что приводит к "загорению" элементов системы продуктами коррозии, солеотложениями из воды, снижению теплоотдачи, увеличению расхода электроэнергии, повышению температуры металлических частей нагревательного элемента и уменьшению срока службы систем.

При замене металлических поверхностей на пластиковые эти проблемы не исчезают, так как солеотложения образуются на любых поверхностях, а запорные узлы выполняются из металлов, которые необходимо защищать от коррозии. Продукты коррозии, поступающие в воду, ухудшают ее потребительские свойства. В связи с этим к качеству пожарно-питьевой воды (как заполняющей, так и подпиточной) предъявляются особые требования. Например, жесткая вода должна подвергаться умягчению (удаление из воды солей жесткости). Но умягченная вода более агрессивна по отношению к металлам, чем жесткая, особенно, если в ней содержатся агрессивные газы, в первую очередь кислород. Поэтому умягченную воду подвергают дегазации. На практике для связывания кислорода применяют гидразин, который опасен для человеческого организма, особенно, если по конструкционным схемам отопительная вода может попасть в питьевую воду. Менее опасно применение сульфита натрия, но при связывании кислорода он превращается в сульфат. Сульфат-анион с ионами кальция образует труднорастворимый шлам. Кроме того, расход сульфита увеличивается при увеличении температуры. В последнее время умягченную воду обрабатывают инги-

биторами с целью защиты водонагревательных систем от коррозии. В качестве ингибиторов, как правило, используют индивидуальные вещества типа нитрита, фосфата, бората, силиката, натрия и т.д. или их смеси. Подобные вещества имеют высокую нерегулируемую растворимость, поэтому для поддержания их концентрации в воде в заданных пределах требуется применение специальных дозаторов.

Химическая обработка воды ингибиторами коррозии и солеотложений является эффективным способом защиты поверхностей водонагревательных систем. Многолетний опыт применения подобных ингибиторов показал, что для элементов водонагревательных систем без защитных покрытий противокоррозионная обработка воды с низкими концентрациями ингибиторов (менее 10 г/м³) малоэффективна, а более высокие концентрации недопустимы по санитарно-гигиеническим нормам, т.к. избыток этих реагентов, попадающих с водой в водоемы, приводит к эвтрофикации, ухудшению качества воды, что оказывает отрицательное влияние на здоровье человека, на флору и фауну. Другим недостатком известных ингибиторов является высокая растворимость, что требует поддержания расчетного количества в обрабатываемой воде с помощью дозирующих устройств и привлечения дополнительного обслуживающего персонала.

Для решения указанных проблем авторы предлагают использовать для обработки воды стекловидные фосфатные композиции запатентованных составов [1,2]. К достоинствам стекловидной фосфатной композиции авторы относят экологическую безопасность, нейтральность (не влияет на значение pH обрабатываемой воды), удобство в обращении, неог-

раниченный срок хранения при соблюдении технических требований.

Особым достоинством стекловидной фосфатной композиции является ее ограниченно-постоянная самопроизвольная растворимость в воде, определяемая составом, который подбирается в зависимости от свойств обрабатываемой воды, планируемого расхода и температуры, что способствует поддержанию концентрации в необходимых пределах без использования дозирующих устройств.

Результаты исследований антикоррозионных и антинакипных свойств стекловидной фосфатной композиции опубликованы в ряде авторских работ [4-12].

К недостаткам стекловидных фосфатных композиций, полученных по патентам [1,2], авторы относят то, что при их изготовлении используется довольно агрессивное исходное вещество - концентрированная фосфорная кислота, для доставки и хранения которой требуются специальные цистерны и особые помещения. Кроме того, в процессе синтеза исходные вещества вступают во множество промежуточных реакций, поэтому конечный состав не всегда получается однородным, что снижает прочность и гидрофобность продукта и приводит к нарушению фосфатной пленки на защищаемой от коррозии и солеотложений поверхности.

В данном исследовании поставлена задача получить стекловидную фосфатную композицию модернизированного состава (СФКМ) по патенту [3], которая дополнительно включает цинксодержащую модифицирующую добавку. При высокой экологической безопасности СФКМ должна обеспечить, во-первых, комплексную защиту металлических и неметаллических поверхностей систем водоснабжения и водоотведения от коррозии, солеотложений (накипи), а также от образования биопленки из высокотоксичных микроорганизмов, во-вторых, повысить качество обрабатываемой пожарно-питьевой воды путем насыщения ее физиологичными катионами цинка и фосфат-анионами, в-третьих, исключить применение агрессивных исходных компонентов.

Для сравнительных исследований были изготовлены образцы двух составов: по патенту [2] (СФК) и патенту [3] (СФКМ), отличающихся наличием модифицирующей цинксодержащей добавки. В качестве исходных компонентов шихты СФКМ были взяты соли: дигидрофосфат натрия $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; дигидро-

фосфат кальция $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$; нитрат цинка $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Изготовление образцов проводили в условиях ООО «КомПас-МГТУ», созданного с целью реализации программы развития инновационной инфраструктуры университета [13], по безотходной технологии.

Состав изготовленных образцов был определен рентгенофлуоресцентным анализом (РФА) на спектрометре ARL QUANT'X и содержал следующие оксиды: Na_2O ; CaO ; P_2O_5 ; ZnO . Соотношение оксидов основных компонентов ($\text{Na}_2\text{O}:\text{CaO}$), влияющих на растворимость, было одинаковым.

Образцы испытывали на растворимость в воде при различных температурах. Заданную температуру поддерживали в термостате. Установили, что растворимость образцов увеличивается при повышении температуры воды.

Растворимость СФКМ является одним из важнейших параметров, от которого зависит образование устойчивой фосфатной пленки на защищаемой поверхности.

Для исследования влияния состава цинксодержащей модифицирующей добавки СФКМ на растворимость образцов провели следующий эксперимент. В лабораторных условиях выплавили два образца: СФКМ-1 с оксидом цинка (из нитрата цинка); СФКМ-2 с оксидом цинка (из исходного вещества). Каждый расплав разлили на три подложки: проба 1 - верхняя фракция из содержимого тигля, проба 2 - средняя фракция, проба 3 - нижняя фракция. После чего определили растворимость трех проб из каждой фракции образцов. Результаты эксперимента представлены в **табл. 1**.

Из результатов, представленных в **табл. 1**, сделали вывод, что в образце СФКМ-1 растворимость мало отличается от состава фракции, ввиду равномерного распределения оксида цинка (из нитрата цинка) по всему объему образца, т.к. при приготовлении шихты нитрат цинка растворился в гидратной воде, содержащейся в исходных компонентах. В образце СФКМ-2 большая часть не растворившегося в процессе подготовки шихты оксида цинка (из исходного вещества) «осела» на дно тигля, что привело к снижению растворимости образцов в нижней и средней фракции.

Таблица 1

Растворимость фракций образцов СФКМ

Образец	Номер пробы	Растворимость, % / сутки
СФКМ-1 с оксидом цинка (из нитрата цинка)	1	1,80
	2	1,75
	3	1,75
СФКМ-2 с оксидом цинка (из исходного вещества)	1	1,90
	2	1,40
	3	1,09

Таблица 2

Коррозионная активность воды

Образец	$\Delta m (Fe)/S$, г/см ² при концентрации композиции в воде, мг/дм ³		
	2,0	5,0	8,0
СФКМ-1	0,031	0,029	0,025
СФК	0,052	0,046	0,037
- (вода без обработки композицией)	0,298		

Т.к. цинксодержащая модифицирующая добавка в виде оксида цинка (из нитрата цинка) обеспечивает большую однородность состава по всему объему образца, то дальнейшие эксперименты по исследованию защитных свойств фосфатной композиции проводились с образцами СФКМ-1, содержащими оксид цинка (из нитрата цинка).

Далее были рассмотрены три аспекта действия фосфатной композиции:

- защита металлических элементов водонагревательных систем от коррозии;
- защита металлических и неметаллических элементов водонагревательных систем от солеотложений (накипи);
- влияние на эвтрофикацию воды.

Для исследования антикоррозионных свойств образцов приготовили по три водных раствора с концентрациями: 2; 5; 8 мг/дм³, т.к. по результатам ранее проведенных экспериментов было установлено, что наиболее эффективная защита от коррозии и солеотложений достигается в пределах содержания композиции в воде от 2 мг/дм³ до 8 мг/дм³; концентрация композиции менее 2 мг/дм³ не обеспечивает в полной мере комплексную защиту элементов водонагревательных систем, а концентрация более 8 мг/дм³ в воде недопустима по санитарно-гигиеническим нормам для пожарно-питьевой воды.

Для интенсификации процесса коррозии и уменьшения срока испытаний температуру растворов поддерживали на уровне 60 °С и помещали в них одинаковые по площади и массе пластины из низкоуглеродистой стали.

Коррозионную активность воды без композиции и с композициями СФК и СФКМ-1 оценивали как отношение массы прокорродировавшего железа на 1 см² площади образцов ($\Delta m/S$). Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Из результатов, представленных в табл. 2, сделали вывод, что при одинаковых условиях испытаний степень защиты от коррозии стальных изделий в воде с использованием СФКМ в 1,5 раза выше по сравнению с СФК при сравнимых концентрациях композиций в воде и в 9-17 раз выше по сравнению с водой без обработки композицией.

Для исследования антинакипных свойств образцов были проведены следующие эксперименты. В водонагреватель (ООО «КомПас-МГТУ») емкостью 100 дм³ подавали холодную воду, которая предварительно проходила через контейнер с композицией. Концентрация композиции в воде после контейнера составляла 5 мг/дм³, что регулировалось массой и растворимостью каждого состава. Испытания проводились с водой, обработанной и не обработанной композицией.

Общий расход воды в каждом эксперименте составлял 500 дм³. Испытанию подвергали воду из источников с разным значением жесткости:

7,3 моль/м³ и 15,1 моль/м³. Холодная вода поступала в водонагреватель, нагревалась в автоматическом режиме до 90 °С и выдерживалась при этой температуре 2 ч. Затем отбирали пробы воды для определения ее жесткости и оставшуюся часть воды сливали. После этого в водонагреватель подавали новые порции воды и осуществляли вышеописанные операции для каждого состава композиции. После испытаний с каждым составом композиции снимали образовавшуюся накипь с элементов водонагревателя, сушили, взвешивали и проводили химический анализ солеотложений. Результаты испытаний представлены в табл. 3.

Антинакипные свойства фосфатной композиции

Образец	Общая жесткость исходной воды, моль/м ³ : 7,3 / 15,1			
	Остаточная жесткость воды, моль/м ³	Масса солеотложений, г	Химический состав солеотложений, масс. %	
			Сумма карбонатов кальция и магния	Метафосфаты кальция и магния
СФКМ-1	7,2 / 14,9	3,5 / 3,9	61,0 / 48,0	39,0 / 52,0
СФК	6,2 / 13,0	7,1 / 42,0	86,0 / 94,0	14,0 / 6,0
- (без обработки)	4,4 / 9,0	38,0 / 86,0	100,0 / 100,0	- / (-)

Из результатов экспериментов, представленных в табл. 3, следует, что:

- масса солеотложений при обработке воды СФКМ-1 практически не зависит от ее исходной жесткости;

- масса солеотложений при обработке воды СФКМ-1 уменьшается от 2 до 10 раз по сравнению с массой солеотложений при обработке воды СФК и от 10 до 21 раза – по сравнению с водой без композиции;

- на долю метафосфатов кальция и магния, участвующих в образовании фосфатной защитной пленки на поверхности металлических элементов водонагревательных приборов, при обработке воды СФКМ-1 приходится от 39 до 52 % от общей массы солеотложений, что значительно выше, чем при использовании СФК (от 6 до 14 %), чем и можно объяснить повышение сплошности защитной фосфатной пленки.

В данной работе провели также предварительные исследования по влиянию СФКМ-1 на процесс эвтрофикации воды. Известно, что избыточное поступление биогенных веществ в водоем нарушает их естественный круговорот и становится причиной его ускоренной эвтрофикации. Ионы PO_4^{3-} , $H_2PO_4^-$, и HPO_4^{2-} (простые фосфаты) способствуют зарастанию водоемов растительностью. Уже 10 мг фосфатов в 1 м³ приводят к заметному росту растительности, вызывая зарастание водоема планктоном. В результате эвтрофикации происходит усиленное развитие фитопланктона, прибрежных зарослей, водорослей, «цветение» воды и др. В глубинной зоне усиливается анаэробный обмен, образуется сероводород, аммиак, метан, нарушаются окислительно-восстановительные процессы, и возникает дефицит кислорода. Это приводит к гибели ценных рыб и растений, вода становится непригодной не только для питья, но и для купания. Эвтрофицированный водоем утрачивает свое биогеоценотическое значение.

Исследование эвтрофикации воды проводили в лабораторных условиях. Для эксперимента были отобраны пробы воды из различных источников: водопроводная вода ФГБОУ ВПО «МГТУ», вода из скважины (поселок Михайловка), водопроводная вода ООО «КомПас-МГТУ». Для сравнения СФКМ-1 с простыми фосфатами провели дополнительный эксперимент. В водные растворы вносили одинаковое количество измельченного зеленого растения (ускоренная эвтрофикация). Стаканы помещали в освещенном месте. Температура во время эксперимента составляла 22 °С. Через семь суток проводили визуальный контроль мутности водных растворов.

По результатам исследований были сделаны следующие выводы:

- максимальная скорость эвтрофикации воды наблюдается при внесении простых фосфатов в виде Na_3PO_4 ;

- водный раствор СФКМ-1 замедляет скорость эвтрофикации, не только по сравнению с простыми фосфатами, но и с водой, не обработанной композицией;

- СФКМ-1, предназначенная для защиты от коррозии и солеотложений элементов водонагревательных систем, работоспособна и обеспечивает также процесс торможения эвтрофикации воды, очевидно, за счет того, что защитная фосфатная пленка образуется не только на поверхности нагревательных элементов, но и на поверхности микрофлоры воды, тем самым, препятствуя доступу кислорода к микрофлоре воды, приводящий к ее активному размножению, сопровождающемуся «цветением» воды.

Таким образом, обработка пожарно-питьевой воды фосфатной композицией модернизированного состава усиливает защиту водонагревательных систем от коррозии, накипи и эвтрофикации.

Список литературы:

1. Костина З.И., Никифоров Б.А., Лаптев В.Н., Ключковская Г.Д., Костин В.Ф., Слобожанкин Г.С. Композиция для защиты от коррозии и солеотложений систем водоснабжения и способ ее приготовления. Патент РФ № 2149219. Бюл. № 14. 2000.
2. Никифоров Б.А., Костина З.И., Слобожанкин Г.С., Крылова С.А., Костин В.Ф., Понурко И.В. Композиция для защиты от коррозии и солеотложений систем водоснабжения и водоотведения. Патент РФ № 2303084. Бюл. № 20. 2007.
3. Костина З.И., Крылова С.А., Костин В.Ф., Понурко И.В. Композиция для защиты систем водоснабжения и водоотведения. Патент РФ № 2535891. Бюл. № 35. 2014.
4. Опыт применения ингибитора «Композиция фосфатная» (КОМФОС) для защиты систем горячего водоснабжения от коррозии и накипеобразования / В.Н. Лаптев, Г.С. Слобожанкин, З.И. Костина и др. // Энергосбережение и водоподготовка. 1999. № 3. С. 43-46.
5. О применении ингибитора «КОМФОС» в системе горячего водоснабжения г. Магнитогорска / Б.А. Никифоров, З.И. Костина, Г.С. Слобожанкин и др. // Практика противокоррозионной защиты. 2000. №3. С.28-31.
6. Разработка и использование композиций для улучшения качества пожарно-питьевой воды / З.И. Костина, В.Ф. Костин, С.А.Крылова, И.В. Понурко //Наука и устойчивое развитие общества. Наследие В.И.Вернадского: Сб. материалов 2-й международной научно-практической конференции. - Тамбов: Издательство: Тамбовпринт, 2007 С.120-121.
7. Разработка составов и схем применения фосфатных композиций для различных объектов / З.И. Костина, В.Ф. Костин, С.А.Крылова, И.В. Понурко //Материалы 65-й научно-технической конференции: Сб. докл. -Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007.Т.1. С.116-119.
8. Анализ состояния стойкости элементов индукционного нагрева с водяным охлаждением / З.И. Костина, В.Ф. Костин, С.А.Крылова, И.В. Понурко //Химия. Технология. Качество. Состояние, проблемы и перспективы развития: Межвуз. сб. науч. тр. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. Вып.2. С.85-89.
9. Пассивация внутренних поверхностей металлических водоводов / З.И. Костина, В.Ф. Костин, С.А.Крылова, И.В. Понурко //Процессы и оборудование металлургического производства: Межрегиональный сб. науч. тр. Вып.8. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. С.200-205.
10. Костина З.И., Крылова С.А., Понурко И.В. Защита водонагревательных элементов бытовых приборов от коррозии и солеотложений //Энергосбережение и водоподготовка. №4 (90) 2014. С. 28-32.
11. Костина З.И., Крылова С.А., Понурко И.В. Защита металлических поверхностей водоохлаждающих систем от коррозии и солеотложений //Теория и технология металлургического производства. №1 (14) 2014. С. 90-92.
12. Антинакипные свойства композиции «Астра» /З.И. Костина, С.А. Крылова, И.В. Понурко, Е.И. Шабалин //Теория и технология металлургического производства. №2 (15) 2014. С. 112-115.
13. Колокольцев В.М. Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова. История. Развитие //Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. №1 (45). С. 5-6.

УДК 621.77.01

Песин А.М., Пустовойтов Д.О., Локотунина Н.М.

ОЦЕНКА ПОВРЕЖДЕННОСТИ МЕТАЛЛА ПРИ АСИММЕТРИЧНОЙ ТОНКОЛИСТОВОЙ ПРОКАТКЕ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 5083*

Аннотация. В работе на основе моделирования МКЭ выполнена оценка поврежденности металла при холодной асимметричной тонколистовой прокатке алюминиевого сплава 5083 в условиях сверхвысоких сдвиговых деформаций. Показано, что при создании большой кинематической асимметрии в сочетании с большими деформациями и высоким контактным трением поврежденность металла существенно возрастает.

Ключевые слова: метод конечных элементов; напряженно-деформированное состояние; асимметричная прокатка; сдвиговая деформация; алюминиевый сплав; поврежденность.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №15-19-10030)

Введение

Алюминиевые свариваемые термически неупрочняемые сплавы серии 5xxx широко применяются в качестве легких конструкционных материалов в различных отраслях промышленности. Улучшение удельных прочностных характеристик таких сплавов за счет холодной пластической деформации является одной из актуальных научно-технических проблем. Эффективным способом повышения прочности алюминиевых сплавов является обработка их методом интенсивной пластической деформации (ИПД). Такие процессы осуществляют при температурах ниже температуры рекристаллизации деформируемого металла. Перспективным методом ИПД с точки зрения возможности его промышленного применения является процесс асимметричной тонколистовой прокатки, позволяющий создавать в материале субмикроструктурную структуру с высокой плотностью дислокаций за счет сверхвысоких сдвиговых деформаций [1-6]. Целенаправленная асимметрия процесса достигается за счет рассогласования окружных скоростей валков при соотношении от 1:2 до 1:4, при этом холодную прокатку осуществляют в условиях высокого контактного трения с большими разовыми деформациями [7-10].

Однако важным вопросом при разработке технологических режимов пластического формоизменения алюминиевых сплавов при ИПД является прогнозирование разрушения, которое сопровождается развитием и увеличением количества микропор и микротрещин. Их относительный объем характеризует поврежденность металла, которая не должна превышать некоторого критического значения, так как при его превышении происходит потеря прочностных характеристик изделия. К настоящему времени опубликовано достаточно много моделей, с помощью которых можно оценивать поврежденность металлических материалов при обработке давлением. В работах [11-13] представлена методика прогнозирования разрушения металла при большой пластической деформации с использованием энергетической модели Cockroft & Latham, согласно которой работа элементарной положительной силы, действующей на материальную точку тела в процессе деформации, характеризует поврежденность металла. Разрушение металла происходит при достижении работой критического значения. Целью данного исследования является численное моделирование и оценка поврежденности металла при холодной асим-

метричной тонколистовой прокатке алюминиевого сплава Al 5083 в условиях сверхвысоких сдвиговых деформаций.

Материалы и метод исследования

Математическое моделирование процесса асимметричной тонколистовой прокатки (рис. 1) алюминиевого сплава 5083

($\sigma_{то} = 330$ МПа) проводили методом конечных элементов с использованием программного комплекса для инженерного анализа технологических операций обработки металлов давлением DEFORM 3D.

При моделировании были приняты следующие допущения: 1) деформируемая среда – упрочняющаяся жесткопластическая; 2) рабочие валки – абсолютно жесткие; 3) закон контактного трения – Кулона; 4) условия деформирования – изотермические; 5) эволюцию микроструктуры не учитывали; 6) деформируемый материал – однородный и изотропный во всем объеме. Рассматривали $\frac{1}{2}$ часть полосы (задавали плоскость симметрии относительно продольной оси).

Исходные данные для моделирования: 1) начальная толщина полосы 2,0 мм, длина – 50 мм, ширина – 20 мм; 2) температура деформируемого металла 20°C; 3) радиус рабочих валков R=100 мм; 4) коэффициент контактного трения $\mu = 0,1 \dots 0,4$; 5) относительная степень деформации за проход $\varepsilon = 50 \dots 75\%$; 6) окружная скорость нижнего валка $V_1 = 10$ мм/сек.; 7) для создания кинематической асимметрии процесса окружную скорость верхнего валка снижали в 2...4 раза относительно скорости нижнего валка, т.е. $V_2 = 2,5 \dots 5,0$ мм/сек.; 8) кривую текучести алюминиевого сплава 5083 задавали из библиотеки материалов DEFORM 3D. Прокатку проводили за один проход без натяжений. Для деформируемой полосы задавали сетку конечных элементов, состоящую из 14200 восьмиугольных (brick) элементов. Оценку поврежденности металла, а также анализ напряженно-деформированного состояния металла при асимметричной прокатке проводили сравнением с симметричным случаем деформирования при $V_1 = V_2 = 10$ мм/сек. Поврежденность (Damage) металла рассчитывали согласно модели Cockroft & Latham:

$$C = \int_0^{\bar{\varepsilon}} \frac{\sigma_{\max}}{\bar{\sigma}} d\bar{\varepsilon}, \quad (1)$$

ний; $\bar{\varepsilon}$ – интенсивность деформации; C – константа материала (критическое значение).

где σ_{\max} – максимальное главное растягивающее напряжение; $\bar{\sigma}$ – интенсивность напряже-

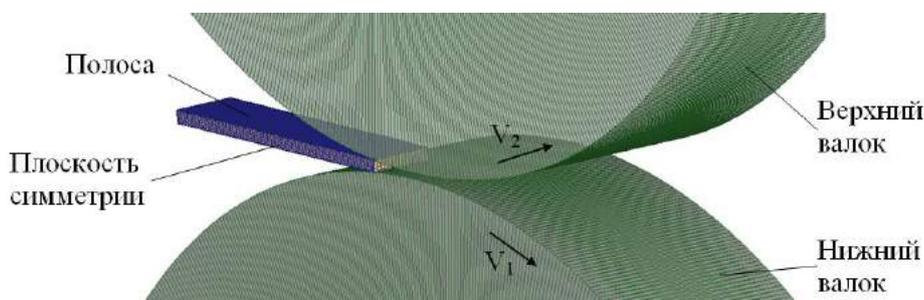


Рис.1. Схема процесса асимметричной тонколистовой прокатки

Результаты моделирования и их обсуждение

При тонколистовой прокатке в области боковых кромок реализуется неблагоприятная схема напряженно-деформированного состояния (НДС) металла. Если в центральной части полосы действует схема всестороннего неравномерного сжатия, то в области боковых кромок в схеме НДС преобладают растягивающие напряжения. Поэтому поврежденность металла у кромок полосы является максимальной. Результаты компьютерного моделирования показали, что при высоком контактном трении ($\mu = 0,4$) с увеличением степени относительной деформации с 50 до 75% поврежденность металла возрастает с 0,364 до 0,693 при симметричной прокатке (рис. 2, а) и с 0,434 до 0,989 при асимметричной прокатке (рис. 2, б).

Конечно-элементный анализ напряженного состояния металла при холодной прокатке алюминиевого сплава 5083 показал, что в очаге деформации действуют сжимающие напряжения, однако в зонах передней и задней

внеконтактной деформации появляются высокие (до 153 МПа) растягивающие напряжения (рис. 3).

При симметричной прокатке с уменьшением коэффициента контактного трения с 0,4 до 0,1 поврежденность металла снижается с 0,364 до 0,337 при $\varepsilon = 50\%$ и с 0,693 до 0,555 при $\varepsilon = 75\%$. При асимметричной прокатке поврежденность алюминиевого сплава 5083 также снижается: с 0,434 до 0,346 при $\varepsilon = 50\%$ и с 0,989 до 0,792 при $\varepsilon = 75\%$. Однако с уменьшением коэффициента контактного трения с 0,4 до 0,1 при асимметричной прокатке с рассогласованием окружных скоростей валков существенно снижаются сдвиговые деформации (рис. 4), что не позволяет использовать данный процесс в качестве метода ИПД для получения субмикроструктурных структур и повышения прочностных свойств алюминиевых сплавов.

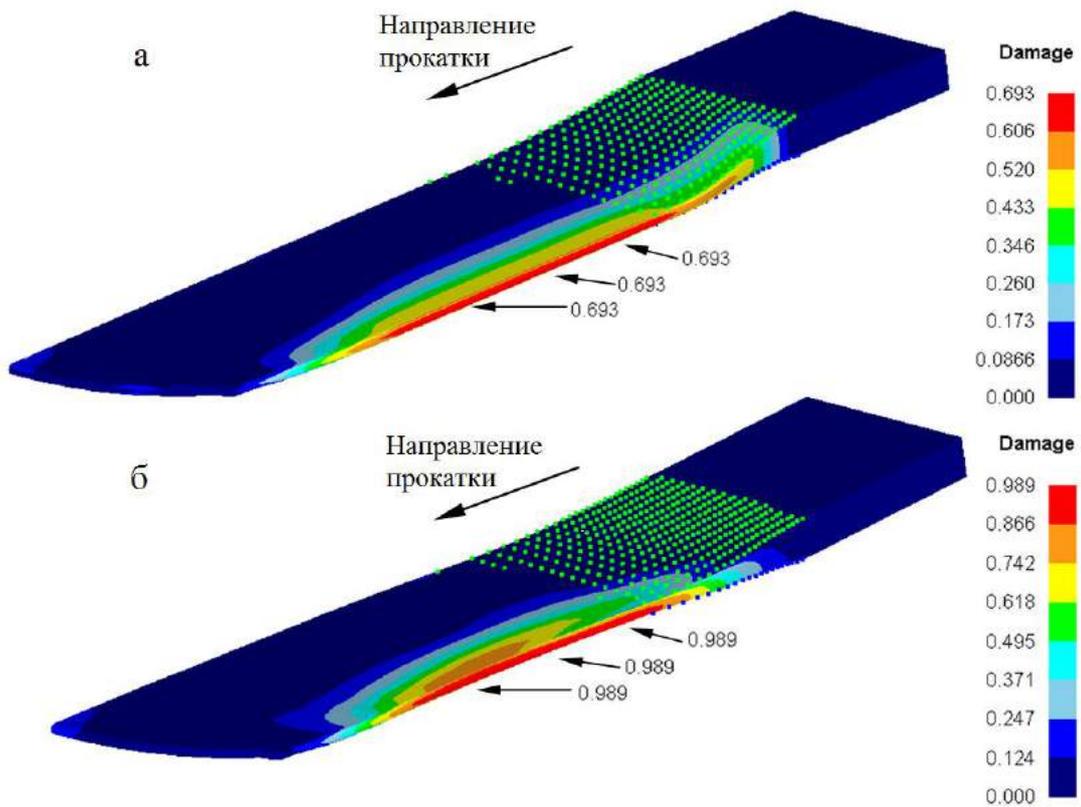


Рис. 2. Поврежденность металла при симметричной (а) и асимметричной (б) прокатке с относительным обжатием 75% и коэффициентом контактного трения $\mu = 0,4$

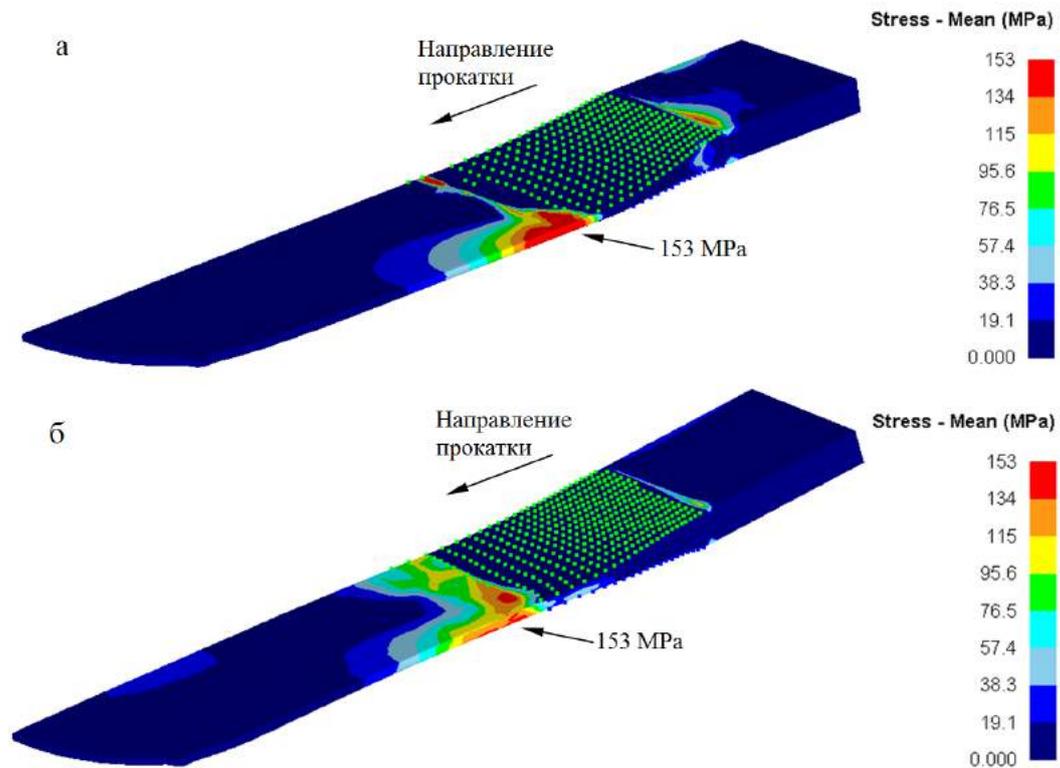


Рис. 3. Поле средних растягивающих напряжений при симметричной (а) и асимметричной (б) прокатке с относительной степенью деформации 75% и коэффициентом контактного трения $\mu = 0,4$

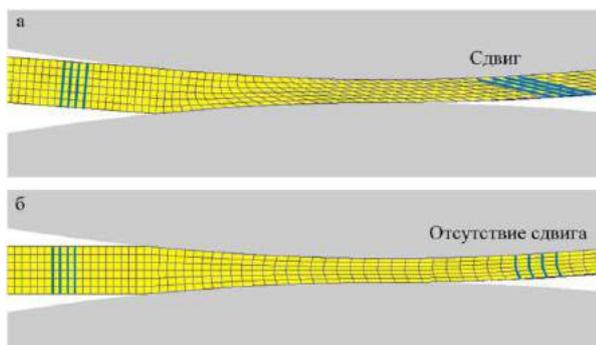


Рис. 4. Сдвиг слоев металла при асимметричной прокатке с относительной степенью деформации 50% и коэффициентом контактного трения $\mu = 0,4$ (а) и отсутствие сдвига при $\mu = 0,1$ (б)

Выводы

1. С использованием энергетической модели разрушения Cockroft & Latham выполнена оценка поврежденности металла при асимметричной тонколистовой прокатке алюминиевого сплава 5083 с большими сдвиговыми деформациями.

2. Поврежденность металла при холодной прокатке алюминиевого сплава 5083 возрастает до 0,989 с увеличением степени деформации до 75% и коэффициента контактного трения до 0,4, а также с увеличением рассогласования окружных скоростей валков до 1:4, т.е. при переходе от симметричного режима деформирования к асимметричной прокатке с большими сдвиговыми деформациями.

3. При холодной прокатке алюминиевого сплава 5083 с большими разовыми деформациями (50...75%) и высоким коэффициентом контактного трения ($\mu = 0,4$) в зонах передней и задней внеконтактной деформации появляются высокие (до 153 МПа) растягивающие напряжения, что может являться причиной образования поверхностных трещин и разрывов.

4. Результаты исследования могут быть полезны при разработке оптимальных режимов асимметричной прокатки алюминиевых сплавов для получения субмикроструктурной структуры и повышенных прочностных свойств.

Список литературы:

1. Development of severe plastic deformation by various asymmetric rolling processes / Ji Y.H., Park

J.J. // *Materials Science and Engineering: A*. Vol. 499. 2009. P. 14-17.

2. Mechanical properties and microstructures of ultrafine-grained pure aluminum by asymmetric rolling / J. Jiang, Yi Ding, F. Zuo, A. Shan // *Scripta Materialia*. Vol. 60. 2009. P. 905-908.

3. Microstructure evolution and mechanical properties of severely deformed Al alloy processed by differential speed rolling / Lorentz, Young Gun Ko // *Journal of Alloys and Compounds*. Vol. 536S. 2012. P. S122-S125.

4. Grain refinement of high purity aluminum by asymmetric rolling / Cui Q., Ohori K. // *Materials Science and Technology*. 2000. Vol. 16. P. 1095-1101.

5. Shear deformation and grain refinement in pure Al by asymmetric rolling / Zuo F., Jiang J., Shan A. // *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. Vol. 18. 2008. P. 774-777.

6. Microstructure and mechanical properties of Al 7075 alloy processed by differential speed rolling / Bobor K. // *Mechanical Engineering*. Vol. 56. 2012. P. 111-115.

7. Influence of process parameters on distribution of shear strain through sheet thickness in asymmetric rolling / Pesin A., Pustovoytov D. // *Key Engineering Materials*. Vol. 622-623. 2014. P. 929-935.

8. Finite element simulation of shear strain in various asymmetric cold rolling processes / Pesin A., Pustovoytov D., Korchunov A., Wang K., Tang D., Mi Z. // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2014. № 4 (48). С. 32-40.

9. Патент № 2542212 РФ, МПК В21В 1/28. Способ производства холоднокатаной полосы / А.М. Песин, Д.О. Пустовойтов. Заявл. 06.11.2013; опубл. 20.02.2015; Бюл. №5.

10. Numerical research of shear strain in an extreme case of asymmetric rolling / Sverdlik M., Pesin A., Pustovoytov D., Perekhozhikh A. // *Advanced Materials Research*. 2013. Vol. 742. С. 476-481.

11. Прогнозирование разрушения металла в процессе интенсивной пластической деформации длинномерной заготовки равноканальным угловым прессованием конформ / Боткин А.В., Валиев Р.З. [и др.] // *Вестник УГАТУ*. 2012. Т. 16. № 8 (53). С. 98-103.

12. Оценка поврежденности металла при холодной пластической деформации с использованием модели разрушения Кокрофта-Латама / А.В. Боткин, Р.З. Валиев [и др.] // *Деформация и разрушение материалов*. 2011. № 7. С. 17-22.

13. Расчет поврежденности металла при угловом прессовании по схеме «Конформ» // А.В. Боткин, Р.З. Валиев [и др.] // *Наноинженерия*. 2013. № 3. С. 36-41.

ANNOTATION

UDC 658.562: 65.018.2

Brinza V.V., Loginova V.V., Perk O.N. RESOURCE POTENTIAL OF INNOVATION-ORIENTED METALLURGICAL COMPANIES: SYSTEMIC ASSESSMENT OF THE IMPACT ON PRODUCT QUALITY

Abstract. The article describes the resource potential of metallurgical plants as a tool to improve the quality of their products. The objects of study are selected three companies that are significantly different in production volumes and degree of innovative products. Are studied the main components of the activities of these metallurgical companies and is designed the structure of their resource potential. It is allowed using previously developed forecasting models of metallurgical companies directly to determine the impact of their resource potential on the level of product quality. The article presents the results of computational experiments, confirming the need for differential support for different kinds of resource potential of metallurgical plants with different production volumes and the level of innovation.

Keywords: resource potential, product quality, qualitative modeling, forecasting, competitive advantage.

UDC 658.56

Atroshenko S.A., Griбанov D.A. PROCESS APPROACH TO THE EVALUATION OF PULSE FRACTURE RESISTANCE OF METAL MATERIALS

Abstract. The main qualimetric characteristics of the metallic materials tested under short time loading ($T = 1 \mu s$) with a high-speed expansion by magnetic pulse method were determined. The qualimetric technique of fracture resistance of metal materials tested by magnetic pulse method was proposed.

Keywords: quality estimation; magnetic pulse stretching method; ring samples; comparing quality indicators chart, experiments planning

UDC 621.771

Krivtsova O.N., Gun G.S., Kuzminova N.Yu., Panin E.A., Nasonov A.I. COMPLEX EVALUATION OF QUALITY OF REINFORCED STEEL PRODUCED IN JSC "AMT"

Abstract. In the article is given a qualitative evaluation of the quality of rebar produced in the conditions of the shape rolling mill of JSC "ArcelorMittal Temirtau". It is revealed that the mechanical properties are not the most critically depends on the quality of the chemical composition; significant impact on quality is also influenced by technological parameters.

Keywords: shape rolled metal, reinforced steel, steel quality, qualimetry, comprehensive quality assessment.

UDC 621.791

Kasatkina E.G., Mezin I.Y, Soldatenko A.F. ANALYSIS OF CONSUMER PROPERTIES OF DIFFERENT PLATINIT MANUFACTURERS

Abstract. In the present work a comparative analysis of consumer properties of the various platinum producers. Considered not only products of Russian enterprises, but their foreign analogues. It is established that the domestic platinit is not very different in its composition from foreign analogues, but inferiors to them in its parameters, such as physical and technological properties and surface quality.

Keywords: composite material, bimetal, platinit, thermal expansion coefficient, the coefficient absolute polythickness, iron-nickel alloy.

UDC 66.669

Salganik V.M., Poletskov P.P., Berezhnaya G.A., Gushchina M.S., Mishukov M. V. THE DEVELOPMENT OF EFFICIENT ROLLING SCHEDULE FOR HIGH-STRENGTH STEEL GRADES 17G1S AND 09G2S TO IMPROVE THE QUALITY OF METAL PRODUCTS

Abstract. In this article described the principal development trends of present gas and oil pipelines systems and conformity of quality of rolled metal, obtained by the application of the existing technology of production of high strength low-alloyed steel grades 09G2S and 17G1S, to the requirements of standards. The analysis of the results obtained during physical modeling was made. According to the results of the analysis concluded that the work undertaken in research and the results obtained on the basis of scientific-industrial complex LLC "Thermodeform-MGTU" confirmed all the required properties high strength low-alloyed steels 09G2S and 17G1S.

Keywords: High-strength low-alloyed steel, thermomechanical rolling, physical modeling, quality, structural strength.

UDC 539.42

Trofimov V.N., Karmanov V.V., Panin Y.V. RESIDUAL STRESSES AND THE CRITERION OF CRACK RESISTANCE

Abstract. In designing of technological processes of machining products, machined, to prevent the occurrence of defects it is necessary to use criteria of fracture mechanics. In linear fracture mechanics one of the most used is the criterion of crack resistance K_{Ic} . The method of determination K_{Ic} is time-consuming, and its application to evaluate the damage of structures made of plastic metals is difficult. The criterion of crack resistance, which can be determined from experiments on uniaxial tensile tests.

Keywords: residual stresses, crack, crack, process technology, machining, deformable media.

UDC 616 – 089.23 – 071.001.5

Vasilchuk A.S. CARD OF THERMOPLASTICS USED IN DENTISTRY

Abstract. Physical and mechanical characteristics of thermoplastics used in stomatology, polypropylene of «Lipol» model in particular, were studied. Characteristics of thermoplastics plasticity defined as a part of plastical deformation in introduction of indicator into the model were found to depend linearly on melting temperature. Increase of temperature causes decrease of model's solidity according to linearly dependence. Along with standard mechanical characteristics the curve of flow, elasticity module as well as viscosity parameters were studied.

Keywords: chart, thermoplastics, plasticity, curve of flow, viscosity parameters.

UDC 658.511.5:683

Rubin G.Sh., Abdrakhmanova R.N. MODELING THE DYNAMICS OF TECHNICAL SYSTEMS

Abstract. The possibility of use of a two-link's S-shaped curve for describing the dynamics of production of cast iron, steel, metal rolled products, OPEC oil production is investigated. The satisfactory convergence of the actual and theoretical data is established.

Keywords: a two-link's S-shaped curve, technological forecasting, S-shaped curve, dynamics of the technical parameter.

UDC 620.173.25

Zhelezkov O.S., Shiryaev O.P., Malakanov S.A., Morozov N.P., KOLESNIKOV V.D. THE EFFECT OF END-HOLE ON THE STRENGTH OF THE ROD WITH BOLT HEAD

Abstract. A series of experiments to assess the influence of the shape and size of the hole in the end strength of the bolts. According to the results of experiments determined the normal stresses in the screw threaded area of the bolt rod and the tangential stress at the surface of the shear head. The conditions for the destruction of the bolts on the screw threaded area without destroying the head.

Keywords: the hole on the end, stress, fracture, bolt head, screw thread

UDC 621.771.25:669.017:669.15

Sychkov A.B., Malashkin S.O. FEATURES FORMATION OF A HOMOGENEOUS STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE TWO-STAGE ROD COOLING

Abstract. Mathematical modeling of cooling wire rods of steel grades 80R and Sv-08GNM produced on the line Stelmor. We obtain a homogeneous structure of sorbited pearlite for steel 80R and large ferrite grain without hardening structures for Sv-08GNM, issued recommendations on the correction technology two-stage cooling rod.

Keywords: steel, modifying, microalloying, wire rod, wire, structure, properties, mathematical modeling, Deform 3D, the kinetics of cooling, Stelmor.

UDC 658.562.012.7: 66.046.516

Sarancha S.Y., Zaitsev D.A. COMPREHENSIVE EVALUATION OF CONSTRUCTION STEELS QUALITY

Abstract. Today task of producing high quality construction steels is topical, because there is a tendency to reduce of metal consumption of constructions with toughening of requirements to durability, weldability and corrosion resistance. For solution this problem we need not only the development of new steel grades, but also prediction of their quality. At this evaluation of metal products quality requires development of universal approaches, allowing on basis of different criterions to predict and appreciate quality of required steel grade. Being that for realization of a comprehensive analysis of operational characteristics steel we need to make considerable amount of calculations, then we have the question about processing informatization – software development for computers will allow not only automate and accelerate analysis process, but also to collect statistical information for further researches

Keywords: quality, quality evaluation, prediction of operational properties, corrosion resistance, weldability, crack formation, carbon equivalent, information technologies.

UDC 628.168.4

Ponurko I.V., Kostina Z.I., Krylova S.A., Shabalin E.I. IMPROVEMENT OF QUALITY OF PHOSPHATIC COMPOSITION FOR PROCESSING OF FIRE-POTABLE WATER

Abstract. Results of research of properties of the phosphatic composition intended for improvement of quality of the conditioned fire - potable water and complex protection of elements of water-heating systems against corrosion, scaling (scale formation), an eutrophication are presented.

Keywords: phosphate composition, solubility, fire-potable water processing, complex protection, corrosion, scaling (scale formation), eutrophication, elements in water heating systems.

UDC 621.77.01

Pesin A.M., Pustovoytov D.O., Lokotunina N.M. EVALUATION OF METAL DAMAGE DURING ASYMMETRIC SHEET ROLLING OF ALUMINUM ALLOY 5083

Abstract. This paper presents the FEM analysis of the evaluation of metal damage during cold asymmetric sheet rolling of aluminum alloy 5083 under ultrahigh shear strain. It is shown that metal damage is increased because of creating of large kinematic asymmetry in combination with high thickness reduction and high contact friction.

Keywords: FEM; stress-strain state; asymmetric rolling; shear strain; aluminum alloy; damage.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Абдрахманова Ригина Назымовна – аспирант каф. ТССА ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 8-982-313-20-12, E-mail: reginaabdrakhmanova@ya.ru

Атрошенко Светлана Алексеевна – доктор физико-математических наук, профессор, профессор Санкт-Петербургского государственного экономического университета. E-mail: satroshe@mail.ru.

Бережная Галина Андреевна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии, сертификации сервиса автомобилей, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. 455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. Тел. 8 (3519) 29-85-25. E-mail: galina_1609@mail.ru.

Бринза Вячеслав Владимирович – д-р техн. наук, директор Научно - исследовательского центра технологического прогнозирования, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС". E-mail: brinzavv@misis.ru.

Васильчук Александр Семенович – ассистент кафедры стоматологии детского возраста Винницкий национальный медицинский университет имени Н.И. Пирогова, Украина, г. Винница. e-mail: ortosto@ukr.net

Грибанов Денис Алексеевич – кандидат технических наук, СПбГЭУ, заместитель начальника отдела научно-исследовательской работы студентов; тел. служ: (812) 310-20-29; тел. моб.: 8-911-971-39-91; e-mail: denisgrib1963@yandex.ru

Гун Геннадий Семенович – доктор технических наук, профессор, советник ректора, профессор кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». 455000 г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38 ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Раб. тел. 8(3519) 29-84-05. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Железков Олег Сергеевич – д.т.н., профессор кафедры механики ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. Тел. (3519) 29-84-27. E-mail: ferumoff@mail.ru.

Зайцев Дмитрий Александрович – аспирант кафедры ОМД ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», телефон – 8 (909) 096-89-25, E-mail: dimas_zaytsev@mail.ru

Карманов Вадим Владимирович – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Инновационные технологии машиностроения» ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (State National Research Polytechnical University of Perm). 614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, д.29 8 (342) 239-15-08, E-mail: karmanovs@yandex.ru

Касаткина Елена Геннадьевна – к.т.н., доцент кафедры ТССА ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», E-mail: tssa@magtu.ru

Колесников Владислав Дмитриевич – студент ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38.

Костина Зинаида Ивановна – к.т.н., доцент кафедры физической химии и химической технологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова», пр. Ленина, д. 38, Магнитогорск, 455000, Россия. E-mail: zikostina@mail.ru. Телефон: 8(3519)29-84-25

Кривцова Ольга Николаевна – к.т.н., доцент, зав. кафедрой ОМД, Карагандинский государственный индустриальный университет, Темиртау, Казахстан; E-mail: krivcova60@mail.ru.

Крылова Светлана Александровна – к.х.н., доцент кафедры физической химии и химической технологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова», пр. Ленина, д. 38, Магнитогорск, 455000, Россия. E-mail: svkryl@mail.ru.Телефон: 8(3519)29-84-25, +79068526944

Кузьминова Надежда Юрьевна – м.т.н., преподаватель кафедры ОМД Карагандинский государственный индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

Логинова Валерия Викторовна – младший научный сотрудник Научно-исследовательского центра технологического прогнозирования (НИЦ ТП), Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС»), тел. (495) 959-47-05. E-mail: ppdu@misis.ru.

Локотунина Наталья Михайловна – к.т.н., доцент кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», тел.: 8(3519)29-85-25; e-mail: nml76@mail.ru

Малаканов Сергей Александрович – к.т.н., начальник отдела ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. Тел. (3519) 29-84-43. E-mail: samalakanov@mail.ru.

Малашкин Сергей Олегович – аспирант кафедры литейного производства и материаловедения, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», телефон: 8-919-320-28-14, E-mail: malashkin.serzh@yandex.ru.

Мезин Игорь Юрьевич – д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: meziy1@mail.ru.

Мишуков Максим Вячеславович – студент кафедры технологии обработки материалов, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. 455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. Тел. 8 (3519) 29-85-25. E-mail: termodeform_mgn@mail.ru

Морозов Никита Павлович – аспирант ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», зам. начальника цеха ОАО «ММК-МЕТИЗ», 455002, г. Магнитогорск, ул. Метизников, 6.

Насонов Александр Иванович – студент НГТУ, Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

Панин Евгений Александрович – м.т.н., ст. преп. кафедры ОМД КГИУ, Карагандинский государственный индустриальный университет, Темиртау, Казахстан, E-mail: cooper802@mail.ru.

Панин Юрий Валерьевич – аспирант, ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», 614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, д.29, 8 (342) 239-15-08

Перк Ольга Николаевна – научный сотрудник Научно-исследовательского центра технологического прогнозирования (НИЦ ТП), Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС»), тел. (495) 959-47-05. E-mail: ppdu@misis.ru.

Песин Александр Моисеевич – профессор, д.т.н., профессор кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», тел.: 8(3519)29-85-25; e-mail: pesin@bk.ru

Полецков Павел Петрович – доктор технических наук, профессор кафедры технологии обработки материалов, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. 455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. Тел. 8 (3519) 29-85-25. E-mail: pavel_poletskov@mail.ru.

Понурко Ирина Витальевна – к.т.н., доцент кафедры физической химии и химической технологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова», пр. Ленина, д. 38, Магнитогорск, 455000, Россия. E-mail: iponurko@mail.ru Телефон: 8(3519)29-84-25.

Пустовойтов Денис Олегович – к.т.н., доцент кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», тел.: 8(3519)29-85-25; e-mail: pustovoytov_den@mail.ru

Рубин Геннадий Шмульевич – канд. техн. наук, доцент кафедры ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: rubin@mgn.ru.

Салганик Виктор Матвеевич – доктор технических наук, профессор кафедры технологии обработки материалов, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38. Тел. 8 (3519) 29-85-06.

Саранча Сергей Юрьевич – аспирант кафедры ОМД ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», телефон – 8 (961) 578-72-02, E-mail: science.mgn@gmail.com

Солдатенко Анатолий Федорович – директор ЗАО «Белмаг», 455000, Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, E-mail: belmag77@yandex.ru.

Сычков Александр Борисович – доктор технических наук, профессор кафедры литейного производства и материаловедения, ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», телефон: 8-919-348-66-84, E-mail: absyckov@mail.ru.

Трофимов Виктор Николаевич – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», 614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, д.29, 8 (342) 239-13-40, E-mail: tvn_perm@mail.ru

Шабалин Евгений Иванович – директор ООО "КомПас-МГТУ", старший преподаватель кафедры физической химии и химической технологии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им Г.И.Носова», пр. Ленина, д. 38, Магнитогорск, 455000, Россия. E-mail: kompas-mgtu@yandex.ru Телефон: +79642474940

Ширяев Олег Петрович – соискатель ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», директор ОАО «ММК-МЕТИЗ», 455002, г. Магнитогорск, ул. Метизников, 6.

THE INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Abdrakhmanova Rigina Nazymovna – postgraduate student; Nosov Magnitogorsk State Technical University, department of vehicle technology, certification and service, 8-982-313-20-12, reginaabdrakhmanova@ya.ru

Atroshenko Svetlana Alekseevna – DSci, professor, St.-Petersburg State Economic University. E-mail: satroshe@mail.ru.

Berezhnaya Galina Andreevna, Ph.D. (Eng.), Associate Professor of the department technology, certification of automobile service, Nosov Magnitogorsk State Technical University. 455000, Russian Federation, Chelyabinsk region., Magnitogorsk, Lenin Avenue, 38. Phone: 8(3519)29-85-25. E-mail: galina_1609@mail.ru.

Brinza Vyacheslav Vladimirovich – Dr. Sc., Director of Scientific Research Center of Technological Prognosis, National Research University “Moscow Institute of Steel and Alloys”;

E-mail: brinzavv@misis.ru

Vasilchuk Alexander Semenovich – Winniza State Medical University N. I.Pirogova, Ukrain, Winniza. E-mail: ortosto@ukr.net

Gribanov Denis Alekseevich – PhD, SPbSEU, phone office: (812) 310-20-29, phone mobile: +7-911-971-39-91, e-mail: denisgrib1963@yandex.ru

Gun Gennadij Semenovich – D.Sc. in technology, Professor, The Rector Adviser, professor of the Mechanical and Metallurgical Process Engineering Department, FSBEI HPE «Nosov Magnitogorsk state technical university». 38 Lenin Avenue, Magnitogorsk, 455000 Russia. Tel.: (3519) 29-84-81, E-mail: mgtu@magtu.ru

Gushchina Marina Sergeevna – Student of the department processing technology of materials, Nosov Magnitogorsk State Technical University. 455000, Russian Federation, Chelyabinsk region., Magnitogorsk, Lenin Avenue, 38. Phone: 8(3519)29-85-25. E-mail: marina.mgn.89@mail.ru.

Zhelezkov Oleg Sergeevich – Ph.D., professor of mechanics Nosov Magnitogorsk State Technical University, 455000, Magnitogorsk, Lenin Street, 38. Tel. (3519) 29-84-27. E-mail: ferumoff@mail.ru.

Zaitsev Dmitry Alexandrovich - postgraduate of “Metal forming” department at the State Educational Institution of Higher Professional Education “Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov”, cell phone: 8 (909) 096-89-25, e-mail: dimas_zautsev@mail.ru

Karmanov Vadim Vladimirovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, head of Department "Innovation engineering technologies", State National Research Politechnical University of Perm, 614990, Perm, Komsomol prospect, 29, 8 (342) 239-15-08, E-mail:karmanovs@yandex.ru

Kasatkina Elena Gennad'evna – Assoc. Prof., Ph.D., Nosov Magnitogorsk State Technical University, E-mail: tssa@magtu.ru

Kolesnikov Vladislav Dmitrievich – student Nosov Magnitogorsk State Technical University, 455000, Magnitogorsk, Lenin Street, 38.

Kostina Zinaida Ivanovna – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor department of physical chemistry and chemical technology of Nosov Magnitogorsk State Technical University, Lenin prospect, the house 38, the city of Magnitogorsk, 455000, RU. E-mail: zikostina@mail.ru. Phone: 8(3519)29-84-25.

Krivtsova Olga Nikolaevna – c.t.s., docent, head of “Metal Forming” department of KSIU; Karaganda state industrial university, Temirtau, Kazakhstan E-mail: krivcova60@mail.ru.

Krylova Svetlana Alexandrovna – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor department of physical chemistry and chemical technology of Nosov Magnitogorsk State Technical University, Lenin prospect, the house 38, the city of Magnitogorsk, 455000, RU. E-mail: svkryl@mail.ru. Phone: 8(3519)29-84-25.

Kuzminova Nadezhda Yur'evna – m.t.s., teacher of “Metal Forming” department of KSIU; Karaganda state industrial university, Temirtau, Kazakhstan.

Loginova Valeriya Viktorovna – Reseacher, Scientific Research Center of Technological Prognosis, National Research University “Moscow Institute of Steel and Alloys”. E-mail: ppdu@misis.ru

Lokotunina Natalya Mikhailovna – candidate of technical sciences, assistant professor of the department «Materials processing technologies», Nosov Magnitogorsk State Technical University, phone: 8(3519)29-85-25; e-mail: nml76@mail.ru

Malakanov Sergey Aleksandrovich – Ph.D., head of the department Nosov Magnitogorsk State Technical University, 455000, Magnitogorsk, Lenin Street, 38. Tel. (3519) 29-84-43. E-mail: samalakanov@mail.ru.

Malashkin Sergey Olegovich – graduate student foundry and materials, FGBOU VPO "Nosov Magnitogorsk State Technical University", Phone: 8-919-320-28-14, E-mail: malashckin.serzh@yandex.ru.

Mezin Igor Jurevich – Prof., Dr. Sc., Nosov Magnitogorsk State Technical University. Phone: 8(3519)29-84-31. E-mail: meziniy1@mail.ru

Mishukov Maksim Vyacheslavovich – Student of the department processing technology of materials, Nosov Magnitogorsk State Technical University. 455000, Russian Federation, Chelyabinsk region., Magnitogorsk, Lenin Avenue, 38. Phone: 8(3519)29-85-25. E-mail: termodeform_mgn@mail.ru

Morozov Nikita Pavlovich – postgraduate student Nosov Magnitogorsk State Technical University, head of department of OJSC «MMK-METIZ», 455002, Magnitogorsk, Metiznikov st.,6.

Nasonov Aleksandr Ivanovich – student of NSTU. Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

Panin Evgeniy Aleksandrovich – m.t.s., senior teacher of “Metal Forming” department of KSIU, Karaganda state industrial university, Temirtau, Kazakhstan; E-mail: cooper802@mail.ru.

Panin Yuriy Valerievich - postgraduate student, State National Research Politechnical University of Perm, 614990, Perm, Komsomol prospect, 29, 8 (342) 239-15-08

Brinza Vyacheslav Vladimirovich – Dr. Sc., Director of Scientific Research Center of Technological Prognosis, National Research University “Moscow Institute of Steel and Alloys”.

E-mail: brinzavv@isis.ru

Pesin Alexander Moiseevich – Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of the department «Materials processing technologies», Nosov Magnitogorsk State Technical University, phone: 8(3519)29-85-25; e-mail: pesin@bk.ru

Poletskov Pavel Petrovich – D.Sc., Professor of the department processing technology of materials, Nosov Magnitogorsk State Technical University. 455000, Russian Federation, Chelyabinsk region., Magnitogorsk, Lenin Avenue, 38. Phone: 8(3519)29-85-25. E-mail: pavel_poletskov@mail.ru.

Ponurko Irina Vitaliyevna – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor department of physical chemistry and chemical technology of Nosov Magnitogorsk State Technical University, Lenin prospect, the house 38, the city of Magnitogorsk, 455000, RU. E-mail: iponurko@mail.ru. Phone: 8(3519)29-84-25.

Pustovoytov Denis Olegovich – candidate of technical sciences, assistant professor of the department «Materials processing technologies», Nosov Magnitogorsk State Technical University, phone: 8(3519)29-85-25; e-mail: pustovoitov_den@mail.ru

Rubin Gennadij Shmulevich – Assoc. Prof., Ph.D., Nosov Magnitogorsk State Technical University. E-mail: rubin@mgn.ru.

Salganik Victor Matveevich – D.Sc., Professor of the department processing technology of materials, Nosov Magnitogorsk State Technical University. 455000, Russian Federation, Chelyabinsk region., Magnitogorsk, Lenin Avenue, 38. Phone: 8(3519)29-85-06.

Sarancha Sergey Yur'evich – postgraduate of “Metal forming” department at the State Educational Institution of Higher Professional Education “Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov”, cell phone: 8 (961) 578-72-02, e-mail: science.mgn@gmail.com

Soldatenko Anatolij Fedorovich – Director, BelMag JSC, 455000, Chelyabinsk region., Magnitogorsk, E-mail: belmag77@yandex.ru.

Sychkov Alexander Borisovich – Doctor of Technical Sciences, professor of materials science, and foundry, FGBOU VPO " Nosov Magnitogorsk State Technical University" Phone: 8-919-348-66-84, E-mail: absychkov@mail.ru.

Trofimov Viktor Nikolaevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, State National Research Politechnical University of Perm, 614990, Perm, Komsomol prospect, 29, 8 (342) 239-13-40; E-mail: tvn_perm@mail.ru

Shabalin Evgeniy Ivanovich – Director of LLC "KomPas-MGTU", Assistant Professor department of physical chemistry and chemical technology of Nosov Magnitogorsk State Technical University, Lenin prospect, the house 38, the city of Magnitogorsk, 455000, RU. E-mail: kompas-mgtu@yandex.ru Phone: +79642474940.

Shiryaev Oleg Petrovich – researcher Nosov Magnitogorsk State Technical University, director of OJSC «MMK-METIZ», 455002, Magnitogorsk, Metiznikov st., 6.

ТРЕБОВАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ, ПРЕДСТАВЛЯЕМЫХ В НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «КАЧЕСТВО В ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ»

1. Рекомендуемый объем статьи – не более 8 страниц компьютерного набора в формате А4, **без нумерации страниц.**

Текст статьи, сведения об авторах, список литературы, аннотация, ключевые слова представляются в соответствии с требованиями к работам, направляемым в центральную печать, в виде файла, созданного средствами Microsoft Word, версией не выше 2007, и распечаткой на стандартных листах бумаги формата А4.

2. При наборе статьи **рекомендуются следующие установки:**

- шрифт – Times New Roman, размер основного текста 14 пт; межстрочный интервал - одинарный; абзацный отступ (красная строка) – 10 мм; перенос слов - автоматический.

Разметка страницы:

деление на колонки - не предусмотрено;

поля: верхнее, нижнее, левое, правое – 20 мм.

Формулы набираются в редакторе формул MS Equation и размещаются внутри текста. Каждая строка формулы – отдельным объектом. Основной размер в формулах – 14 со стандартными установками. В формулах также как в текстовом редакторе латинские символы набираются курсивом; цифры, греческие и русские символы, математические функции (sin, ln и т.п.) – прямого начертания.

В тексте статьи обязательны ссылки на все рисунки и таблицы. Ссылка на рисунки по тексту - (рис. 1); на таблицу – (табл. 1).

Рисунки должны быть четкими, предоставлять возможность однозначного прочтения всех размещенных элементов. Рисунки должны быть вставлены в текст в пределах его границ, допускать возможность их перемещения в тексте и возможность изменения размеров. Рисунки предоставлять в виде распечатки на стандартных листах бумаги формата А4 и дополнительно отдельным файлом в формате TIF, JPG с разрешением 300 dpi. В тексте статьи должны быть подрисовочные надписи в местах размещения рисунков. Например:

Рис. 1. Опытный болт крепления головки цилиндра

Таблицы должны быть пронумерованы и иметь названия. Пример оформления – Таблица 1 (в правый край листа). На следующей строке название таблицы (по центру).

3. К каждой статье прилагаются:

- **экспертное заключение, при наличии авторов сторонних организаций – разрешение на публикацию в отрывной печати от руководства их предприятия на бланке с печатью;**

- **рецензия;**

- **сведения об авторах** (на русском и английском языках): фамилия, имя, отчество полностью, ученая степень, звание и должность, полное название учреждения, контактный телефон и адрес электронной почты каждого автора (всю информацию об авторе перечислить в одном абзаце).

- **аннотация** (на русском и английском языках) должна содержать актуальность, постановку проблемы и пути решения проблемы), количество слов – 50-100;

- **ключевые слова** (на русском и английском языках);

- **список литературы** (на русском и английском языках) оформляется по ГОСТ 7.1.

- **В начале статьи, на отдельной строке указывается код УДК**

Пример оформления статьи:

УДК...

Иванов М.В.,

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет»

[пустая строка]

ВЫБОР ФУНКЦИЙ ПОРИСТОСТИ И РАСЧЕТ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ СРЕДЫ

[пустая строка]

Текст статьи

Внимание! Публикация статей является бесплатной.

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, ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова»

Тел.: (3519) 29-84-31

E-mail: tssa@magtu.ru