

ОБРАБОТКА СПЛОШНЫХ И СЛОИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

№ 1 (42) июль 2015 г.

Журнал входит в базы данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ). Электронные версии журнала размещаются на сетевом ресурсе Научной Электронной Библиотеки в сети Интернет.

Издается с октября 1970 года

Редакционный совет

Председатель редсовета:

А.И. Рудской – член-корреспондент РАН, д-р техн. наук, проф., ректор Санкт-Петербургского государственного политехнического университета

Члены редсовета:

А.Б. Найзабеков – академик, д-р техн. наук, проф., ректор Рудненского индустриального института, Казахстан;

М. Кнапински – проф., д-р наук, заместитель декана по науке факультета инженерии процессов, материалов и прикладной физики, Ченстоховский Технологический Университет, Польша;

И. Каллиари – доцент, Школа Инженерии, Университет г. Падуя, Италия;

В.М. Салганик – проф., д-р техн. наук, заведующий кафедрой обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «МГТУ»;

О.Н. Тулунов – проф., д-р техн. наук, профессор кафедры обработки металлов давлением ФГБОУ ВПО «МГТУ»;

И.Г. Гун – генеральный директор ЗАО НПО «Белмаг», проф., д-р техн. наук, руководитель НУК «Технологии и конструкции автокомпонентов» ФГБОУ ВПО «МГТУ»;

Главный редактор:

М.В. Чукин – проф., д-р техн. наук, первый проректор-проректор по научной и инновационной работе ФГБОУ ВПО «МГТУ».

Зам. главного редактора:

М.А. Полякова – доц., канд. техн. наук, доцент кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «МГТУ»;

К.Г. Пивоварова – доц., канд. техн. наук, доцент кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «МГТУ».

Технический редактор: *Л.В. Джерыкина*

© Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2015

Учредитель – Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова (455000, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38)
16+, в соответствии с Федеральным Законом от 29.12.10, №436-ФЗ.

Адрес редакции:

455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38

Тел.: (3519) 29-85-26. Факс (3519) 29-85-26

Е-mail: m.polyakova-64@mail.ru; m.chukin@mail.ru

Журнал отпечатан на полиграфическом участке МГТУ им. Г.И. Носова.

455000, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38

Выход в свет 01.07.15. Заказ 483. Тираж 500 экз. Цена свободная

PROCESSING OF SOLID AND LAMINATE MATERIALS

№ 1 (42) June 2015 г.

The magazine is included in databases of the Russian Index of Scientific Citing (RISC). Internet versions take place on a network resource of Scientific Electronic Library on the Internet.

Published since October, 1970

Editorial committee

Chairman of editorial committee:

A.I. Rudskoy - corresponding member of Russian Academy of Science, D.Sc. in engineering, prof., rector of the St. Petersburg state polytechnical university.

Members of editorial team:

A.B. Nayzabekov – Academician, D.Sc. in engineering, prof., Rector of Rudny Industrial Institute, Kazakhstan.

M. Knapinski – prof., Dr. of sciences, vice dean on science of faculty of processes engineering, materials and applied physics, Chenshtokhovskiy Technological University, Poland.

I. Kalliari - associate professor, Engineering School, University Padua, Italy.

V.M. Salganik- prof., D. Sc. in engineering, head of the metal forming department of FSBI HPE "Nosov Magnitogorsk State Technical University".

O.N. Tulupov – prof., D.Sc. in engineering, prof., of the metal forming department of FSBI HPE "Nosov Magnitogorsk State Technical University".

I.G. Gun - director general of CJSC «Belmag», prof., D.Sc. in engineering, chief of SEC «Technologies and constructions of autoparts» FSBI HPI "Nosov Magnitogorsk State Technical University".

Editor-in-chief:

M.V. Chukin – prof., D.Sc. in engineering, first Vice-rector-Vice-rector for Research and innovative activity of FSBI HPI "Nosov Magnitogorsk State Technical University",

Deputy chief editor:

M.A. Polyakova - Assoc. Prof., PhD., as-
soc. Prof. of mechanical engineering and metallurgical technologies department FSBI HPI "Nosov Magnitogorsk State Technical University".

E.G. Pivovarova - Assoc. Prof., PhD.,
assoc. Prof. of mechanical engineering and metallurgical technologies department FSBI HPI "Nosov Magnitogorsk State Technical University".

Technical editor: *L.V. Dgeryjkina*

© Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2015

Founder - Nosov Magnitogorsk State Technical University
(455000, Chelyabinsk Region, Magnitogorsk, Lenin Avenue, 38)
16+, in according to a Federal Law 29.12.10, №436-Ф3.

Editorship address:

455000, Magnitogorsk, Lenin prospect, 38
Phone number: (3519) 29-85-26. Fax (3519) 29-85-26
E-mail: m.polyakova-64@mail.ru; m.chukin@mail.ru

Printed in the Printing MSTU area.

455000, Chelyabinsk Region, Magnitogorsk, Lenin Avenue, 38
Publication date 01.07.15. Order 483. Circulation - 500 items. Free price

СОДЕРЖАНИЕ

Гун Г.С.

Достижения магнитогорских учёных в обработке материалов давлением
(научный обзор).....5

Харитонов В.А., Лунев В.Е., Полякова М.А., Ефимова Ю.Ю.

Калибрующее обжатие канатов двойной свивки
в роликовой волоке.....22

Загорянский В.Г.

Оптимизация характеристик противопульной биметаллической брони
по критерию предельной скорости пробития.....28

Вотинова Е.Б., Шалимов М.П.

Парциальные коэффициенты перехода углерода,
марганца и кремния при ручной дуговой сварке.....34

Бахматов Ю.Ф., Лебедева И.Г., Темиргалеев К.Р.

Оценка влияния ресурсных полей на процесс переноса
расплава, позиционированного в пространстве
магнитным полем, на покрываемое изделие.....42

Гун Г.С., Корчунов А.Г., Пивоварова К.Г.

Исследование смазки для сухого волочения металла
с применением термического анализа.....44

Файзулина Р.В., Молева О.Н., Виноградов В.П.

Возможности улучшения потребительских свойств
черной жести с повышенными пластическими свойствами.....47

Харитонов В.А., Усанов М.Ю.

Анализ способов непрерывного
наноструктурирования проволоки.....50

Стеблянко В.Л., Пономарев А.П.

Улучшение коррозионной стойкости металлопродукции
путём плазменно-электролитной обработки её поверхности.....61

Рефераты.....65

Reports.....68

Сведения об авторах.....70

Information about authors.....71

CONTENTS

Gun G.S.

Achievements of Magnitogorsk scientists in material forming processing
(scientific review)..... 5

Kharitonov V.A., Lunev V.E., Polyakova M.A., Efimova Yu.Yu.

Double lay ropes caliber cobbing in the roll die..... 22

Zagoryansky V.G.

An optimization of bimetallic bulletproof armor's characteristics by criterion of limit
speed of through-penetration..... 28

Votnova E.B., Shalimov M.P.

Partial factors for conversion carbon, vmanganese and silicon for manual
arc welding..... 34

Bakhmatov Yu.F., Lebedeva I.G., Temirgaleev K.R.

Estimation of recourse fields affect on transfer process onto the plating item liquid
metal positioned in space by magnetic field..... 42

Gun G.S., Korchunov A.G., Pivovarova K.G.

Research lubricant for dry drawing metal using thermal analysis..... 44

Fayzulina R.V., Moleva O.N., Vinogradov V.P.

Abilities for customers properties improvement of sheet metal with enhanced
plastic properties..... 47

Kharitonov V.A., Усанов

Double lay ropes caliber cobbing in the roll die..... 50

Steblyanko V.L., Ponomarev A.P.

Improvement of corrosion resistance of metal products by plasma-electrolytic
treatment of their surface..... 61

Рефераты..... 65

Reports..... 68

Сведения об авторах..... 70

Information about authors..... 71

**ДОСТИЖЕНИЯ МАГНИТОГОРСКИХ УЧЁНЫХ
В ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ ДАВЛЕНИЕМ**
(научный обзор)*

Гун Г.С.

*Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова, Россия*

Вступление

Предлагаю обзор результатов теоретических достижений одной из ведущих профильных кафедр МГТУ им. Г.И. Носова – кафедры машиностроительных и металлургических технологий (ММТ) [1-6]. Кафедра ММТ образована в 1969 г. и за эти годы открыты 5 специальностей: в 1969 г. - «Обработка металлов давлением» (первая и единственная в стране на протяжении многих лет специализация - «Метизное производство»); в 1987 г. - «Порошковая металлургия, композиционные материалы, покрытия»; в 1995 г. - «Стандартизация и сертификация (в металлургии)»; в 1998 г. - «Сервис и техническая эксплуатация транспортных и технологических машин», «Материаловедение в машиностроении»; в 2010 г. - «Наноматериалы». В 2008 г. открыт «НИИ наносталей». В 1996 г. создан на базе МГТУ и ОАО «ММК» «Уральский региональный центр Академии проблем качества РФ», при МГМИ – «Ассоциация стандартизации, сертификации, контроля качества продукции и услуг», а также лицензированные Орган сертификации и Международный технический комитет по стандартизации продукции. Создан сначала кандидатский, затем докторский диссертационный совет по специальности «Стандартизация и управление качеством продукции» (металлургия) – уникальный и единственный по этой специальности для металлургии. Только на ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» («ММК») свыше 100 человек защитили докторские и кандидатские диссертации в диссертационных советах нашего вуза, а всего только в совете по качеству МГТУ выпущено свыше 30 докторов и кандидатов наук.

Состояние вопроса

В 1999 г. впервые в вузе Государственной премией в области науки и техники удостоен коллектив учёных кафедры во главе с профессором Стеблянко В.Л. за создание непрерывной промышленной линии по производству биметаллической проволоки на Магнитогорском метизно-металлургическом заводе [1, 2].

Во главе с доцентом В.Д. Голевым молодые учёные М.В. Чукин, И.Ю. Мезин, М.Я. Митлин спроектировали цех порошковой металлургии на Белебеевском заводе «Белсельмаш». Идеи молодых учёных И.Ю. Мезина, И.Г. Гуна, М.В. Чукина по переработке чугунной обрезки изложниц в порошок послужили толчком к созданию мини-завода порошковой металлургии «Феррум» на базе ОАО «ММК». Впервые в регионе мы стали производить порошковые изделия для ВАЗа, затем во главе с профессором И.Г. Гуном создано предприятие по выпуску автокомпонентов – ЗАО «БелМаг», которое в настоящее время является лидером по производству автокомпонентов в России и фактически служит базовой кафедрой университета на производстве [3-5].

Нельзя не отметить издательскую деятельность кафедры ММТ, выпустившей за эти годы сотни книг, монографий, пособий, сборников; занимающей лидирующие позиции в выпуске ваковского журнала «Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова», журналов «Обработка сплошных и слоистых материалов», «Качество в обработке материалов».

**Работа подготовлена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках выполнения государственного задания Магнитогорскому государственному техническому университету им. Г.И. Носова № 11.1525.2014К от 18.07.2014 г., а также реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, выполняемого с участием российского высшего учебного заведения (договор 02.G25.31.0040 от 11.02.2013г.).*

Кафедра всегда отличалась самобытностью и новаторством в теоретических разработках. Так, первый заведующий кафедрой, профессор Аркулис Г.Э. разработал уникальную теорию совместной пластической деформации разнородных металлов, послужившую базой для решения задач конструирования и обработки слоистых материалов различных композиций и назначения. Эта теория в то время явилась прорывом в теории совместной деформации материалов с различными характеристиками, получила мировое признание и распространение [6, 7].

Тесное сотрудничество кафедры с метизными заводами страны и с единственным в то время исследовательским метизным центром СССР – ВНИИметизом позволили занять лидирующие позиции в теории метизного производства. Мощная группа метизников: Белалов Х.Н., Коковихин Ю.И., Кулеша В.А., Клековкина Н.А., Дорогобид В.Г., Щеголев Г.А., Харитонов В.А., Манин В.П., Чукин М.В., Корчунов А.Г. и др. фактически обеспечила теоретическую платформу метизной подотрасли СССР, а затем и России [8-12].

Международное признание получила и научная школа «порошковиков»: В.Д. Голев, И.Ю. Мезин, М.В. Чукин, М.Я. Митлин, Э.М. Голубчик, М.А. Полякова и др. На рубеже 80-90-х годов прошлого столетия в университете при кафедре ММТ открыта специальность «Порошковые и композиционные материалы, покрытия» и начата подготовка высококвалифицированных инженерных кадров в области порошковых технологий и нанесения покрытий. В 1988 г. по заданию Государственного комитета по образованию СССР научно-педагогический коллектив кафедры назначен разработчиком учебного плана по специальности «Порошковые и композиционные материалы, покрытия» для всех вузов СССР.

Представители научного коллектива, вовлеченные в научные исследования по проблемам порошковой металлургии и нанесения покрытий (научные руководители – Мезин И.Ю., Чукин М.В.), приняли участие в 17 научно-исследовательских работах, в числе которых 3 федеральные научно-технические программы по исследованиям в области порошковой технологии, Международный проект с техническим университетом г. Хемниц (ФРГ), 6 грантов по фундаментальным проблемам в области металлургии и в области машиностроения. Под руководством И.Ю. Мезина разработаны теоретические принципы построения технологических процессов производства пористых металлоизделий для различных отраслей промышленности, заключающиеся в использовании холодной пластической деформации в качестве операции, обеспечивающей не только форму и размеры, но и одновременное формирование материала готового изделия, получены новые научные знания о консолидации отдельных элементов пористой металлической среды при холодном прессовании [13-18].

С кафедры ММТ вышла группа учёных, создавших кафедру технологий, сертификации и сервиса автомобилей и новое научное направление – Теория и практика производства метизов для автопрома: И.Г. Гун, И.Ю. Мезин, И.А. Михайловский, В.И. Куцепендик, В.В. Сальников, Д.С. Осипов и др. Научным коллективом под руководством д.т.н. Гуна И.Г. разработаны новые и усовершенствованы существующие процессы обработки давлением такие, как: планетарная обкатка, запрессовка, высадка, штамповка и планетарно-поворотная обкатка, закатка и др.; разработана концепция производства метизов для автопрома; пакеты методик расчета и испытательные стенды для автомобильных метизов. ЗАО «БелМаг», во многом благодаря своим теоретическим разработкам, стал лидером в России по производству автокомпонентов [19-40].

Новая концепция конструирования и формирования покрытий в процессах ОМД на основе принципа обеспечения динамической устойчивости технологического и эксплуатационного деформирования при стохастичности параметров управления и состояния разработана Чукиным М.В. Им предложен метод сравнения двух специальных нечетких множеств в задачах технологического и эксплуатационного деформирования изделий с покрытиями, учитывающий этапность и значимость целей соответствующих показателей для комплексного критерия оптимизации; создана реологическая модель упругопластической пористой слоистой среды с межслойными границами произвольной формы и пространственной ориентации; получены условия совместной пластической деформации некомпактных элементов

многослойного материала для случаев отсутствия и наличия деформационного упрочнения твердой фазы элементов композита. Под руководством М.В. Чукина проведен комплекс теоретических изысканий, в результате получены новые научные знания о процессе волочения проволоки с полимерными покрытиями при детерминированных значениях микрогеометрии межслойной границы и случайно-вероятностном характере распределения показателей микрогеометрии межслойной границы; определены границы устойчивости процесса электроконтактного напекания двухслойных покрытий при детерминированных значениях пористости и случайно-вероятностном характере распределения пористости по объему элементов композиции; выведены зависимости влияния параметров состояния пористых покрытий из самофлюсующихся порошковых сплавов на эксплуатационные показатели изделий с покрытиями при механическом воздействии абразивной средой. В результате исследований предложены теоретические принципы разработки оптимальных процессов технологического деформирования изделий с покрытиями и оптимальных конструкций покрытий в процессах эксплуатационного деформирования [41-48].

В конце прошлого столетия под руководством автора в МГТУ предложено новое научное направление – квалиметрия промышленной продукции и производственных процессов в металлургии, разработаны методология и методы комплексной количественной оценки материальных объектов, являющихся продуктом труда, технологических процессов, процессов организации работы предприятий и учреждений. Направление включает в себя разработку методов структурирования интегрального качества объекта, функционально-целевой анализ качества, исследование качества с использованием метода QFD, исследование взаимодействий отдельных свойств, разработка методов оценки отдельных и комплексных свойств, разработка методов свёртки единичных и комплексных оценок в интегральную. Предложенное нами направление основывается на холистическом подходе и теоретических положениях теории систем и системного анализа, исследовании синергетических эффектов, математическом аппарате классической и нечёткой логики [49-56].

В 21-м веке кафедра ММТ (зав. кафедрой Чукин М.В.) получила новое мощное «дыхание». Создана современная, мирового уровня лабораторно-исследовательская база, выиграны «немыслимые» конкурсные программы и гранты, только за последние 5 лет с суммой более 300 млн. руб., где особенно значимы проекты по созданию нового высокотехнологичного производства [56-67].

С 2007 г. на кафедре ММТ под руководством проф. Чукина М.В. проводится комплекс научно-исследовательских работ, направленных на установление закономерностей формирования структуры и свойств ультрамелкозернистых (УМЗ) углеродистых сталей, методами деформационного измельчения [74-83]. Под УМЗ мы понимаем поликристаллические материалы с размером зерен менее 1000 нм, свойства которых значительно отличаются от свойств крупнозернистых материалов, что определяет реальные возможности их практического применения в разнообразных отраслях науки и техники. Исследования были начаты под руководством Чукина М.В. и Копцевой Н.В. при участии сотрудников Института физики перспективных материалов ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», которые оказали существенную помощь в осуществлении равноканального углового прессования (РКУП), одного из наиболее эффективных методов деформационного получения УМЗ структуры с размером зерна менее 1000 нм.

Копцевой Н.В. были доказаны феноменологические особенности структурных превращений в углеродистой конструкционной стали при деформационном измельчении зерна до размера 200-500 нм методом РКУП, выявлено влияние на них предварительной термической обработки и последующих деформационного и термического воздействий. Определен механизм влияния структурообразования в углеродистых конструкционных сталях на механические свойства, формирующиеся в процессе РКУП и при последующих деформационно-термических воздействиях, которые характеризуются высоким уровнем прочностных характеристик при сохранении удовлетворительных пластических характеристик и ударной вязкости [78-80]. Раскрыты специфические особенности структурных превращений и механизма

рекристаллизации при нагреве УМЗ низко- и среднеуглеродистой стали, объясняющие высокую стабильность ее структуры и свойств при термическом воздействии [81]. Эти результаты вносят вклад в расширение представлений металловедения о фазово-структурных превращениях в сталях при внешних воздействиях и о влиянии структуры на их свойства.

В качестве способа формирования УМЗ структуры материала был разработан метод равноканальной угловой свободной протяжки, реализация которого позволила управлять свойствами металлов в условиях непрерывности технологического процесса изготовления проволоки [69, 70-72].

Полученные результаты показали возможность использования РКУП для получения в дешевых нелегированных сталях свойств, характерных для легированных сталей после упрочняющей термической обработки, для пластифицирования стали и успешного проведения последующей холодной пластической деформации с формированием высоких прочностных характеристик продукции. Была создана база данных, зарегистрированная в государственном реестре, позволяющая прогнозировать комплекс механических свойств УМЗ сталей и обеспечивающая накопление и подготовку исходных данных для создания новых технологических процессов с использованием методов интенсивной пластической деформации (ИПД) при производстве различных видов металлопродукции.

Внедрение результатов исследований позволяет значительно расширить класс конструкционных материалов для изготовления металлических изделий, обладающих повышенными прочностными свойствами, что имеет большое значение для металлургии и машиностроения и приносит существенный экономический эффект.

Эти работы получили развитие в настоящее время: с использованием физического моделирования на современном комплексе Gleeble 3500 в МГТУ исследуется возможность деформационного измельчения и получения УМЗ структуры углеродистой стали методами высокоскоростной и многоциклового горячей пластической деформации [69-81].

Барышниковым М.П. разработан и внедрен новый подход к регламентации поверхностного слоя металлических изделий, заключающийся в рассмотрении зоны контактирования двух поверхностей как некоторой некомпактной пористой среды, где можно выделить две основные области: материал и пустое пространство. Применение такого подхода при рассмотрении процессов контактирования поверхностей позволяет использовать для моделирования и прогнозирования теоретические закономерности и математический аппарат, известные в механике некомпактных сред и порошковой металлургии [82, 83]. Барышниковым М.П. предложена методика прогнозирования механических свойств и напряженно-деформированного состояния (НДС) в процессах обработки давлением стальных заготовок с различными структурными неоднородностями (неметаллические включения, газовые поры, направленная структура, вследствие неоднородности деформации). Методика основана на представлении металлов, как некомпактной среды, и реализована методами конечно-элементного и аналитического математического моделирования [84, 85].

В основе наиболее распространенных программных пакетов по расчету процессов ОМД лежит механика сплошных сред. Математическая модель процесса деформации металла, представленная системой двадцати девяти дифференциальных уравнений, была создана с использованием некоторых упрощений, что влечет за собой рост погрешности результата вычислений. Ввиду сложности аналитического решения системы двадцати девяти дифференциальных уравнений применяют численные методы, самым распространенным из которых является метод конечных элементов. Применение численных методов, в свою очередь, также способствует увеличению погрешности вычислений.

В 1928 г. появилась фундаментальная работа Куранта, Фридрихса и Леви, посвященная численному решению дифференциальных уравнений в частных производных [86]. Интерес авторов заключался в использовании конечно-разностных методов решения дифференциальных уравнений как инструмента математики. Дискретизируя дифференциальные уравнения, доказывая сходимости дискретной системы к дифференциальной и, наконец, устанавливая существование решения дискретной системы алгебраическими методами, они доказывали

теоремы существования и единственности решений для эллиптических, гиперболических и параболических дифференциальных уравнений. В этой работе было также получено и объяснено знаменитое необходимое условие устойчивости Куранта–Фридрихса–Леви, которое в современной терминологии гласит, что число Куранта должно быть меньше единицы. Этот подход является частным случаем клеточных автоматов [87]. В плане точности модели динамики клеточные автоматы конкурентоспособны, по крайней мере, с точки зрения их вычислительной эффективности.

Клеточные автоматы являются дискретными динамическими системами, эволюция которых полностью определяется в рамках локальных зависимостей, что также свойственно большому классу непрерывных динамических систем, определенных уравнениями в частных производных. Клеточный автомат в каком-то смысле подобен физическому понятию «поля». Если представить клеточный автомат как своеобразный мир, где пространство расчерчено равномерной сеткой, каждая клетка (ячейка) которой характеризуется конечным количеством определенных параметров, время представлено последовательностью тактов, а законы мира представлены конечной таблицей переходов состояний для всех ячеек в зависимости от состояний соседних ячеек, то эта система достаточна для реализации сложных структур и явлений. Необходимо также отметить достоинство клеточных автоматов в общей парадигме параллельных вычислений [87].

Первой нашей попыткой создать модель реальной среды была система подвижных клеточных автоматов [88]. Среда представляла собой конечное количество элементарных элементов, взаимодействующих друг с другом по некоторому закону. В список параметров, характеризующих каждый элемент, входили координаты центра масс, масса и компоненты скорости. Варьируя закон взаимодействия элементов, можно было изменять свойства среды. Но эта система имела ряд недостатков, в частности, потребность в гигантской вычислительной мощности ПК, поскольку приходилось рассчитывать взаимодействия каждого элемента с каждым, а также количество тактов было слишком велико.

Вторая модель представляет собой классический клеточный автомат. Плоскость разделена на элементарные квадратные ячейки, а время, в свою очередь, – на такты.

В построенной нами модели рассматривается абстрактное возмущение, распространяющееся от источника по заданной области. Это отражает наиболее общий подход к моделированию физических взаимодействий в среде.

Обобщающий подход открывает широкие перспективы для моделирования процессов ОМД. В этом случае возмущением может быть изменение положения материальной точки, скорость материальной точки, сила, напряжения, деформации. Клеточно-автоматная модель открывает широкие перспективы для разработки эффективных программ расчета НДС заготовки в процессе обработки давлением [88, 89].

В последние годы в вузе интенсивно развивается теория качества в рамках научной школы «Разработка и развитие теории квалиметрии и управления качеством продукции и производственных процессов» [90-102]. Рубиным Г.Ш. предложены основы функционально-целевого анализа [103-109]. Разработано понятие «функция объекта» (изделия, процесса), основанное на фундаментальных представлениях о взаимодействиях в физике. Определены три функции изделий, которые существенны для оценивания метизов: транспортная, монтажная и эксплуатационная. Обоснован и определен период существования объекта оценивания, в котором он выполняет потребительские функции. Этот период предложено назвать потребительской фазой. Разработан метод анализа структуры качества объекта, основанный на анализе функций, выполняемых при его потреблении. Исследователями МГТУ реализуется системный подход к комплексной оценке качества. Определён комплекс требований к операции свёртки, уточняющий известные ранее и опирающийся на положения логики относительных оценок. Введено понятие «акселерация оценок при свёртке», отражающее свойство эмерджентности в системах. Дано его математическое определение. Предложены функции свёртки, удовлетворяющие обоснованному в работе комплексу требований.

Мы считаем весьма продуктивным и разрабатываем процессный подход к оценке результативности технологического процесса. Разработаны понятия и методы локальной, глобальной и комплексной результативности многооперационного процесса производства, основанные на функциональном подходе к оценке технологического процесса, и методы их оценки, а также новые методы совершенствования технологических процессов с целью получения заданного качества метизов, повышения результативности технологического процесса.

Разработаны методы оценки требований к заготовке на основе нечёткого моделирования для получения требуемого качества метизов в заданном технологическом процессе и метод факторного анализа результативности технологического процесса, позволяющий оценивать потенциальные возможности операций для повышения результативности процесса.

Разработан функциональный метод анализа качества витых изделий, отличающийся наиболее полным учётом требований потребителя к кабелю. Определены понятия «функция изделия» и «свойство изделия». Методом функционального анализа разработана структура качества геофизического кабеля, отличающаяся сетевым строением. Анализ структуры свойств изделия позволил выявить новое потребительское свойство геофизического кабеля – «жесткость», определяемое количественным показателем «осевая жесткость».

Разработана номенклатура показателей, характеризующая эффективность процесса производства шаровых пальцев, включающая комплекс требований потребителя к качеству продукции и специальные требования к технологическому процессу. Разработана методика оценки технологической эффективности процессов производства шаровых пальцев, основанная на вычислении комплексной оценки с учётом свойства акселерации комплексной оценки.

Предложен комплексный показатель результативности технологического процесса производства высокопрочной арматуры железобетонных шпал (ЖБШ), формирующийся на основе глобального и локального показателей процесса и метод его анализа, позволивший определить технологические резервы для достижения заданного уровня потребительских свойств готовой продукции.

На основе разработанной методики нечёткого моделирования технологического процесса получены математические модели пооперационного изменения прочностных и пластических свойств заготовки для производства самонарезающих винтов на этапе подготовки металла к холодной объемной штамповке [103-109].

Корчуновым А.Г. предложена методология разработки и применения математических моделей с элементами нечеткой логики для управления показателями качества металлических изделий в процессах их формирования и технологической наследственности при разработке новых и совершенствовании действующих технологий метизного производства [110-115]. Формализована процедура описания параметров управления процессами обработки, параметров состояния и показателей качества металлических изделий нечеткими и лингвистическими переменными. Разработана последовательность структурной и параметрической идентификации математических моделей с элементами нечеткой логики управления показателями качества продукции [110-112]. Сформулированы принципы анализа неблагоприятных наследственных связей в процессах формирования качества продукции, предложены и разработаны технологические мероприятия, направленные на подавление их развития или устранение с учетом специфики взаимодействия методов обработки различной физической природы в технологиях метизного производства [113-115].

В рамках научной школы «Разработка и развитие теории квалиметрии и управления качеством продукции и производственных процессов» Голубчиком Э.М. предложены научно обоснованные подходы к адаптивному оперативному управлению качеством металлопродукции применительно к многовариантным технологическим системам [116-119]. Сформулированы теоретические положения и построены различные модели и алгоритмы, реализующие методы оперативного технологического воздействия на показатели качества металлопродукции в процессе ее изготовления при возможной многовариантности технологической

системы, обеспечивающие гарантированное достижение желаемого потребителем уровня качества. Такой подход позволяет предприятию-производителю наиболее эффективным образом использовать имеющиеся у него ресурсы для повышения своих конкурентных преимуществ, исключая затратные методы «проб и ошибок» при разработке технологий производства новых видов продукции. Учеными вуза в кооперации со специалистами-практиками проводятся комплексные исследования по применимости данной методологии при освоении инновационной металлопродукции, обладающей глубокой степенью переработки в условиях таких предприятий как ОАО «ММК», ОАО «Мотовилихинские заводы» (г. Пермь).

Повышение качества продукции является важным фактором, определяющим конкурентоспособность продукции. Это обеспечивается путем выстраивания надежных отношений между потребителями и производителями. Особую актуальность приобретают проблемы повышения качества продукции на современном этапе интеграции российской экономики в мировое экономическое пространство. Это требует решения ряда задач, среди которых совершенствование системы стандартизации на всех уровнях производственных отношений. К настоящему времени накоплен багаж знаний, разработаны принципы и методы стандартизации, нормативная база стандартизации насчитывает сотни нормативных документов. Однако, следует отметить отсутствие научных основ стандартизации; зачастую нормы, регламентируемые в стандартах, не соответствуют современному уровню развития техники и технологий; разработка, принятие и утверждение стандартов занимает довольно длительный промежуток времени; практически не действует заявляемый принцип опережающей стандартизации. Все это сдерживает быстрое внедрение современных достижений науки в действующее производство [120].

О качестве металлопродукции судят, прежде всего, по степени соответствия показателей качества требованиям нормативно-технической документации (НТД). Система обязательных требований в металлургии представлена более, чем 20000 нормативных документов, в основном советского периода. Она неудобна для применения, часто имеет рамочный характер, содержит завышенные, дублирующие и избыточные требования, не гармонизирована с мировой практикой. Общероссийский каталог стандартов Ростехрегулирования содержит перечень 1855 государственных стандартов по разделу 77 «Металлургия». Многие ГОСТы устарели и не отвечают новым требованиям и принципам стандартизации; не отражают в полной мере рыночных отношений. Кроме того, действующие в настоящее время отраслевые стандарты в большинстве характеризуются несистематизированностью, значительной долей устаревших требований, отсутствием программы развития.

Стандартизация характеризуется тем, что имеет объект, в качестве которого выступают предметы, явления, процессы, повторяющиеся в виде различных вариантов, причем выбранный из этого множества вариант должен быть оптимальным. Поиск оптимального варианта должен производиться на научной основе с использованием математической статистики, теории вероятностей, комбинаторной математики и т.д. Стандартизация предполагает определенный набор действий: выбор или разработку оптимальных решений, их узаконивание и оформление по установленному порядку, их практическое применение в практике по строго регламентированным правилам, т.е. стандартизацию можно рассматривать как систему приемов трудовой деятельности, как метод работы.

Основными задачами стандартизации в области металлургического производства в настоящее время являются: упорядочение (систематизация) информации в НТД; унификация количества НТД на определенный вид продукции; разработка методических основ с учетом внедрения инноваций и модернизации металлургического производства, т.е. стандартизация должна быть действительно опережающей.

В МГТУ усилиями ученых Рубина Г.Ш., Поляковой М.А., Чукина М.В. и др. [120, 121] складывается новая наука о приёмах и методах разработки стандартов на промышленную продукцию. Для обозначения этой науки предложено использовать греческое слово *πρωτοπο* - стандарт. Следуя традициям словообразования русского языка - соединять названия предмета изучения с окончания «-логия», соответствующую науку о стандартизации

называем «Протипология». Предметом данной науки является разработка методов согласования требований потребителя и возможностей изготовителя продукции. Этапами разработки стандартов являются:

- 1) разработка требований потребителя, как набора свойств и характеризующих их измеряемых показателей;
- 2) установление соответствия между потребительскими свойствами и свойствами изделия, контролируемые изготовителем продукции;
- 3) максимальное сближение позиций изготовителя и потребителя и разработка стандарта как оптимального компромисса позиций сторон.

Наши научно-практические разработки последних лет доказывают перспективность и возможность внедрения нанотехнологий в действующие технологические процессы производства металлоизделий различного назначения. Результатом практической реализации фундаментальных исследований в области формирования наноструктуры в углеродистых сталях при различных видах ИПД стали разработанные технологические процессы получения различных видов метизной продукции. Использование углеродистой стали с УМЗ структурой для производства различных видов металлоизделий (проволока, машиностроительный крепеж, высокопрочная арматура для ЖБШ и др.) позволяет не только получить характерный для данного структурного состояния комплекс прочностных и пластических свойств, но также в значительной степени расширяет области применения, приводит к экономии материальных и энергетических ресурсов.

Одним из примеров последовательной реализации предлагаемых этапов разработки стандартов, связанного с отсутствием нормативной базы для производства металлоизделий из сталей с УМЗ структурой, является разработанная нами технология производства высокопрочных болтов М16 из углеродистых сталей 20 и 45 после РКУП методом холодной высадки. Результаты испытаний показали, что использование УМЗ сталей может существенно повысить класс прочности болтов, что достаточно сложно обеспечить для данных марок стали традиционными методами обработки. Это объясняется деформационным измельчением структуры материала болтов и формированием в нем УМЗ структуры по всему сечению изделия. Согласно общей методологии протипологии в настоящее время реализованы первые два этапа разработки стандарта. В ходе первого этапа проведен анализ требований потребителей в получении высокопрочного крепежа с высокими значениями механических свойств. При этом немаловажную роль играет возможность замены легированных марок стали на углеродистые при сохранении требуемого уровня механических свойств. На втором этапе проведен комплекс теоретико-экспериментальных работ по установлению такой возможности. В настоящее время остро стоит необходимость разработки стандарта, либо разработки изменений в действующие нормативные документы, открывающие перспективы производства данного вида метизной продукции из углеродистых сталей с УМЗ структурой [11, 57-61, 63, 65, 66, 120, 121].

В 2010-2012 гг. специалистами ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ» и учеными МГТУ реализован совместный проект по созданию высокотехнологичного производства высокопрочной арматуры диаметром 9,6 мм для ЖБШ высокоскоростных и тяжелонагруженных магистралей, поддержанный Министерством образования Российской Федерации. Реализация проекта была направлена на достижение значимой научной цели, заключающейся в формировании наноструктурированного состояния высокоуглеродистых сталей в объемных длинномерных изделиях [11, 57-61, 65, 66, 120, 121]. При реализации технологии первый этап разработки нормативной документации на этот вид металлопродукции реализован в виде требований ОАО «РЖД» как основного потребителя. На втором этапе учеными МГТУ и специалистами ОАО «ММК-МЕТИЗ» был проведен колоссальный объем экспериментальных исследований по установлению влияния режимов каждой операций технологического процесса на конечные потребительские свойства арматуры. В результате проведенных работ в действующие в ОАО «ММК-МЕТИЗ» технические условия ТУ 0930-011-01115863-2008 были внесены изменения в части расширения класса арма-

туры 1450К, а также нового вида исполнения: прутки со свободной длиной без резьбы на концах.

Несмотря на то, что по своим эксплуатационным характеристикам металлоизделия, получаемые из углеродистых сталей с УМЗ структурой, не уступают, а порой превосходят свои крупнозернистые аналоги, промышленное внедрение данных технологических процессов сдерживается отсутствием НТД. Основываясь на предлагаемом подходе, основным направлением развития стандартизации на современном этапе является использование основных положений протипологии для разработки стандартов, прежде всего отраслевого значения. Это будет являться базой не только для скорейшего внедрения, например, нанотехнологий в действующее промышленное производство, но станет значительным шагом вперед на пути адаптации требований отечественных стандартов мировым аналогам.

Кафедра ММТ МГТУ является практически единственной в России, выпускающей метизников, тесно сотрудничает с предприятиями этой отрасли в сфере научной деятельности. В настоящее время ведущим ученым – метизником, профессором кафедры Харитоновым В.А. проводится комплекс исследований, направленных на повышение конкурентоспособности проволоки и канатов. Под его руководством защищено 12 кандидатских диссертаций, посвященных решению актуальных проблем метизной подотрасли страны [12, 122-125]. В.А. Харитоновым предложен пакет методик проектирования: калибровок валков станов сортовой холодной прокатки и роликовых волок; ресурсосберегающих технологических процессов изготовления проволоки различного назначения; параметров периодического профиля холоднодеформированной проволоки из низко- и высокоуглеродистых сталей и инструмента для его нанесения; маршрутов волочения проволоки и выбора параметров волочильного инструмента на основе оценки геометрической скоростной и контактной неравномерности деформации.

Разработана теория калибрующего пластического обжатия прядей и канатов гладких и периодического профиля в роликовых волоках и модель расчета параметров структурообразования при волочении проволоки в роликовых волоках радиально-сдвиговой деформации.

Разработаны, прошли опытное промышленное опробование, внедрены в производство на промышленных предприятиях (ОАО «БМК», ОАО «ММК-МЕТИЗ», ЗАО «Уралкорд» и др.) новые технологии производства проволоки круглой передельной из высоколегированных и легких сплавов; проволоки фасонного и периодического профиля; из легированных, низко – и высокоуглеродистых сталей, проволоки высокоуглеродистой под металлокорд. Работы проводились совместно с ведущими научно-исследовательскими институтами: ВНИИМетиз (г. Магнитогорск), ВИЛС (г. Москва), НИИЖБ (г. Москва), ВНИИЖелезобетон (г. Москва) и др. [12, 122-138].

Выводы

Таким образом, можно отметить, что почти за полвека деятельности кафедры машиностроительных и металлургических технологий МГТУ им. Г.И. Носова достигнуты серьезные результаты в развитии теории обработки металлов давлением и теории качества с широким внедрением на предприятиях металлургии и машиностроения Российской Федерации.

Список литературы

1. 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.
2. Колокольцев В.М., Разинкина Е.М., Глухова А.Ю. Подготовка квалифицированных кадров в условиях университетского комплекса // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12. № 1-2. С. 615-618.

3. Научная деятельность ГОУ ВПО «МГТУ» в условиях развития нанотехнологий / М.В. Чукин, В.М. Колокольцев, Г.С. Гун, В.М. Салганик, С.И. Платов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. № 2. С. 55-59.
4. Колокольцев В.М. Пять лет от аттестации до аттестации // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2008. № 1. С. 5-11.
5. Гун Г.С. Развитие теории обработки металлов давлением (научный обзор) // Вестник Южно-Уральского государственного университета. 2015. Т. 15. № 2. С. 34-49.
6. Гун Г.С. Инновационные методы и решения в процессах обработки материалов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 4 (48). С. 99-106.
7. Стеблянко В.Л. Создание технологий получения биметаллической проволоки и покрытий на основе процессов, совмещенных с пластическим деформированием: дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.05 / Стеблянко Валерий Леонтьевич. Магнитогорск, 2000. 300 с.
8. Стеблянко В.Л., Ситников И.В.. Очистка и активация поверхности металлов перед плакированием и нанесением покрытий // «Черметинформация»: Обзорная информация. М., 1991. 22 с.
9. Использование чугунной стружки в качестве сырья для производства порошков / А.А. Гостев, Г.С. Гун, М.В. Чукин, И.Ю. Мезин и др. // Новые технологии получения слоистых материалов и композиционных покрытий: Материалы Междунар. науч.-техн. конф. Сочи. 5-8 октября 1992.
10. Гун Г.С., Мезин И.Ю. Production of Duroble Materials and Products on the basis of steel carbide chromium // Advances in Materials & Processes international conference & exhibition 16-19 февраля 1992. Бомбей, Индия, 1992.
11. Гун И.Г., Михайловский И.А., Осипов Д.С. и др. НПО «БелМаг» - 10 лет движения вперед / Магнитогорский Дом Печати. 2007. 104 с.
12. Аркулис Г.Э. Совместная пластическая деформация разнородных металлов. М.: Metallurgy, 1964. - 272 с.
13. Аркулис. Г.Э., Дорогобид В.Г. Теория пластичности. М.: Metallurgy, 1987. 352 с.
14. Белалов Х.Н., Клековкина Н.А., Клековкин А.А., Никифоров Б.А., Гун Г.С., Корчунов А.Г., Зюзин В.И., Кулеша В.А., Савельев Е.В. Производство стальной проволоки: монография. Магнитогорск: МГТУ, 2005. 543 с.
15. Белалов Х.Н., Клековкина Н.А., Гун Г.С., Корчунов А.Г., Полякова М.А. Стальная проволока: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. 689 с.
16. Кулеша В.А. Изготовление высококачественных метизов (научный и практический опыт Белорецкого металлургического комбината). Коллективная монография. Белорецк: Магнитогорский Дом Печати, 1999. 328 с.
17. Производство высокопрочной стальной арматуры для железобетонных шпал нового поколения. Авторский коллектив. / Под общей редакцией М.В. Чукина / М.В. Чукин, А.Г. Корчунов, В.А. Бакшинов, М.П. Барышников, Г.С. Гун, Д.К. Долгий, Ю.Ю. Ефимова, В.М. Колокольцев, Н.В. Копцева, К.Ю. Куранов, В.Н. Лебедев, И.Ю. Мезин, М.А. Полякова, В.В. Чукин. М.: Metallurgizdat, 2014. 276 с.
18. Харитонов В.А. Направления развития технологических процессов производства проволоки // Метизное производство в XXI веке: Межвуз. сб. науч. тр. Магнитогорск, 2001. С. 4-15.
19. Мезин И.Ю. Развитие теории и технологии формирования металлоизделий холодным прессованием структурно-неоднородных материалов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.05 / Мезин Игорь Юрьевич. Магнитогорск, 2001. 360 с.
20. Мезин И.Ю. Формирование металлоизделий из структурно-неоднородных материалов: монография. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2000. 155 с.
21. Гун Г.С., Гун И.Г., Мезин И.Ю. и др. Эффективные способы глубокой переработки металла на базе Магнитогорских металлургических предприятий // Новые материалы и технологии НМТ-98: Материалы Всерос. науч.-техн. конф. М.: Изд-во «ЛАТМЭС», 1998. С. 72.

22. Ryabkov V.M., Gun G.S., Mezin I.Y. The principles of developing steel – carbide chrome composite powder materials by cold deformation of porous ingots // International Conference “Materials by Powder Technology – PTM 93”, March 23-26, 1993, Дрезден (ФРГ).

23. Гун Г.С., Мезин И.Ю. Исследование контактных явлений при развитии консолидации в порошковом материале // Материалы Междунар. науч.-техн. конф. «Новые технологии получения слоистых и порошковых материалов, композиционных покрытий», Сочи. 1993. С. 115-116.

24. Теоретические и технологические основы производства порошков и изделий регулируемого состава на основе железа / Г.С. Гун, И.Ю. Мезин, И.Г. Гун и др. // Материалы Российской межвуз. науч.-техн. конф. «Фундаментальные проблемы металлургии», Екатеринбург: УГТУ. 1995. С. 91.

25. Получение порошковых материалов и изделий (Опыт работы завода «Марс»): монография / Г.С. Гун, А.А. Гостев, И.Ю. Мезин, Е.Г. Козодаев, И.Ф. Тимошенко, И.Г. Гун. Магнитогорск, 1993. 112 с.

26. Поляков М.Г., Никифоров Б.А., Гун Г.С. и др. Калибровка профиля петли двери легкового автомобиля ВАЗ // В кн.: Теория и практика производства стальных фасонных профилей: сб. науч. трудов. Магнитогорск: МГМИ, 1971, вып. 106.

27. Производство и эксплуатация валков на металлургическом предприятии. Т. 4. Валковый инструмент для производства гнутых профилей. / М.Ф. Сафронов, В.Г. Антипанов, В.Ф. Рашников, В.Ф. Афанасьев, В.Л. Корнилов, Г.С. Гун, Н.Г. Шемшурова. Магнитогорск: МГТУ, 1999. 92 с.

28. Гун Г.С., Богатырев Ю.П., Кандауров Л.Е. и др. Калибровка таврового профиля для тормозных колодок автомобиля «Москвич» // В кн.: Теория и практика производства стальных фасонных профилей: сб. науч. трудов. Магнитогорск: МГМИ, 1974, вып. 140.

29. Гун Г.С., Рубин Г.Ш., Богатырев Ю.П. и др. Поле скоростей при прокатке тавровых профилей в трехвалковых калибрах // Известия ВУЗов. Черная металлургия. 1979. № 4.

30. Гун Г.С., Гостев А.А., Гун И.Г. Концепция мини-завода порошковой металлургии с использованием в качестве сырья чугунной стружки // Новые технологии получения слоистых порошковых материалов, композиционных покрытий: Материалы Междунар. науч.-техн. конф. Сочи 7-10 сентября 1993.

31. Выбор материала и разработка технологии изготовления тормозных элементов дискового тормоза легковых автомобилей методом порошковой металлургии / Г.С. Гун, И.Ю. Мезин, О.Б. Толмачева, И.Г. Гун, А.А. Гостев, Е.Г. Козодаев и др. // Состояние и перспективы развития научно-технического потенциала Южно-Уральского региона: Материалы Межгосуд. науч.-техн. конф. Магнитогорск: МГМИ, 1994. С. 124.

32. Использование порошков из чугунной стружки Магнитогорского металлургического комбината в антифрикционных материалах / Г.С. Гун, И.Ю. Мезин, О.Б. Толмачева, И.Г. Гун, А.А. Гостев, Е.Г. Козодаев и др. // Обработка сплошных и слоистых материалов: Межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. Г.С. Гуна. Магнитогорск: МГМА. 1994. С. 54-65.

33. Развитие машиностроительного производства в условиях АО ММК / Г.С. Гун, А.А. Гостев, В.А. Куц, В.Е. Хребто, И.Г. Гун // Труды второго конгресса прокатчиков. М., 1998. С. 334-336.

34. Гун И.Г., Михайловский И.А. Способ чистовой обработки неполных сферических поверхностей обкатыванием // Технология машиностроения. 2001. № 4. С. 12-15.

35. Совершенствование режимов планетарной обкатки головок шаровых пальцев на основе анализа микро топографии поверхности с целью повышения качества изделий / И.А. Михайловский, В.В. Сальников, Д.С. Осипов, И.Г. Гун // Вестник Череповецкого государственного университета. 2011. № 1 (т. 2). С. 39-44.

36. Сальников В.В., Михайловский И.А., Гун И.Г. Моделирование процесса разрушения шарового шарнира передней подвески автомобиля при осевом нагружении // Журнал ААИ. 2011. № 2. С. 51-53.

37. Гун И.Г., Михайловский И.А. Анализ и совершенствование процесса планетарной обкатки головок шаровых пальцев // Совершенствование технологий производства и конструкций автомобильных компонентов: Сб. науч. тр. М.: ИД «ААИ-ПРЕСС», 2003. С. 119-123.
38. Михайловский И.А., Гун И.Г., Лапчинский В.В. Методика проведения и обработка результатов объединенных испытаний верхних шаровых пальцев передней подвески автомобилей ВАЗ 2101-2107 // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2004. № 4 (8). С. 43-50.
39. Стенд для испытаний шаровых шарниров: пат. 2263889 Рос. Федерация / И.А. Михайловский, И.Г. Гун, Ю.М. Ясаков и др.; БИ и ПМ. № 31.
40. Гун И.Г., Железков О.С., Михайловский И.А. Способ обработки неполной сферической головки шарового пальца поверхностным деформированием: пат. 2162785 Рос. Федерация; Бюл. № 4. 10.02.2001.
41. Шаровой шарнир: пат. 2475652 Рос. Федерация: МКИ F16C 11/06 / И.Г. Гун, В.И. Артюхин, Ю.В. Калмыков, П.Е. Левченко, В.В. Сальников, Е.И. Гун; опубл. 20.02.2013, Бюл. № 5.
42. Шаровой шарнир рулевого управления: пат. 2501995 Рос. Федерация: МКИ F16C 11/06, B62D 7/16 / И.Г. Гун, В.И. Артюхин, Е.И. Гун, Ю.В. Калмыков, В.В. Сальников, В.И. Куцепендик; опубл. 20.12.2013, Бюл. № 35.
43. Шаровые шарниры шасси: совершенствование конструкций, технологий и методов оценки качества: монография / И.А. Михайловский, И.Г. Гун, Е.И. Гун, Е.Г. Касаткина. Магнитогорск: Изд-во: Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. 201 с.
44. Разработка, моделирование и совершенствование процессов производства шаровых шарниров автомобилей / И.Г. Гун, И.А. Михайловский, Д.С. Осипов, В.И. Куцепендик, В.В. Сальников, Е.И. Гун, Ал.В. Смирнов, Ар.В. Смирнов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (45). С. 52-57.
45. Разработка процесса планетарно-поворотной обкатки / И.А. Михайловский, В.И. Куцепендик, Е.И. Гун, И.Г. Гун, В.В. Сальников // Metallургические процессы и оборудование. 2014. № 1. С. 39-45.
46. Разработка, моделирование и исследование процессов ОМД при производстве шаровых шарниров автомобилей / И.Г. Гун, Д.С. Осипов, И.А. Михайловский, Ю.В. Калмыков, В.И. Куцепендик, В.В. Сальников, Е.И. Гун // Инновационные технологии обработки металлов давлением: сб. докл. междунар. науч.-техн. конф. М.: НИТУ «МИСиС», 2011. С. 482-487.
47. Развитие процессов ОМД в производстве автокомпонентов / В.И. Куцепендик, И.Г. Гун, И.А. Михайловский, Д.С. Осипов, В.В. Сальников, Е.И. Гун, Ар.В. Смирнов, Ал.В. Смирнов // XIV International Scientific conference «New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering: a collective monograph edited by Henryk Dyja, Anna Kawalek. Series: monographs No 31. Czestochowa. 2013. Pp. 309-316.
48. Чукин М.В. Развитие теории и оптимизация процессов технологического и эксплуатационного деформирования изделий с покрытиями: дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.05 / Чукин Михаил Витальевич. Магнитогорск, 2001. 398 с.
49. Упрочняющие и восстанавливающие покрытия / Г.С. Гун, В.В. Кривошапов, М.В. Чукин, В.С. Адамчук, А.М. Цун. Челябинск: Metallургия, Челябинское отделение, 1991. 160 с.
50. Слоистые композиционные покрытия в метизной промышленности. Том 1 / Е.И. Кузнецов, М.В. Чукин, М.П. Барышников, О.В. Семенова. Магнитогорск: ПМП «МиниТип», 1997. 96 с.
51. Слоистые композиционные покрытия в метизной промышленности. Том 2 / Е.И. Кузнецов, М.В. Чукин, М.П. Барышников, О.В. Семенова. Магнитогорск: ПМП «МиниТип», 1997. 208 с.
52. Упрочнение прокатных валков напеканием чугуновых порошков / А.А. Гостев, М.В. Чукин, Г.С. Гун и др. // Пути развития машиностроительного комплекса Магнитогорского металлургического комбината: сб. науч. тр. / Под ред. А.А. Гостева. Магнитогорск: МГМА, 1996. С. 168-171.

53. Гун Г.С., Чукин М.В., Барышников М.П. Кинематика процесса волочения двухслойных композиций с полимерной составляющей // *Материалы 5 Междунар. конф. «Пленки и покрытия»*. СПб., 1998. С. 5-8.
54. Чукин М.В. Развитие теории волочения проволоки с функциональными покрытиями // *Материалы Первой Междунар. науч.-техн. конф. «Металлофизика и деформирование перспективных материалов»*. Самара. 1999. С. 36-37.
55. Гун Г.С., Чукин М.В. Оптимизация процессов технологического и эксплуатационного деформирования изделий с покрытиями: монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. 323 с.
56. Гун Г.С. Совершенствование технологии производства высокоточных: 05.16.05 / Гун Геннадий Семенович. М., 1985. 276 с.
57. Гун Г.С. Управление качеством высокоточных профилей: монография. М.: Металлургия, 1984, 152 с.
58. Гун Г.С., Сторожев С.Б. Расчет комплексного показателя качества на примере оценки качества стальных фасонных высокоточных профилей // *Стандарты и качество*. 1978. № 1.
59. Гун Г.С. Метод комплексной оценки качества металлопродукции // *Известия ВУЗов. Черная металлургия*. 1982. № 8.
60. Гун Г.С., Рубин Г.Ш., Пудов Е.А. и др. Комплексная оценка качества стальной канатной проволоки // *Известия ВУЗов. Черная металлургия*. 1983. № 12.
61. Гун Г.С. Теоретическое обоснование комплексной оценки качества металлопродукции // *Известия АН СССР. Металлы*. 1983. № 4.
62. Гун Г.С. Критерии управления качеством процесса изготовления фасонных профилей // *Известия АН СССР. Металлы*. 1984. № 2.
63. Михайловский И.А. Повышение результативности производства шаровых шарниров на основе регламентации комплекса требований к качеству изделий и материалов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.23 / Михайловский Игорь Александрович. Магнитогорск, 2011. 310 с.
64. 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. 25-28.
65. Перспективы производства высокопрочной стальной арматуры для железобетонных шпал нового поколения на основе термомодеформационного наноструктурирования / М.В. Чукин, Г.С. Гун, А.Г. Корчунов, М.А. Полякова // *Черная металлургия: Бюллетень Черметинформация*. Вып. 4. 2012. С. 100-105.
66. Перспективы производства высокопрочной стальной арматуры для железобетонных шпал нового поколения на основе термомодеформационного наноструктурирования / М.В. Чукин, Г.С. Гун, А.Г. Корчунов, М.А. Полякова // *Неделя металлов в Москве: Сб. тр. конф. 15-18 ноября 2011*. М.: ВНИИМЕТМАШ, 2012. С. 79-87.
67. Chukin M., Gun G., Emaleeva D. Производство высокопрочной наноструктурированной арматуры для железобетонных шпал // XIII International Scientific conference "New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering: a collective monograph edited by Henryk Duja, Anna Kawalek. Series: monographs No 24. Czestochowa. 2012. P. 327-332.
68. Перспективы производства высокопрочной стальной арматуры из высокоуглеродистых марок стали / М.В. Чукин, Г.С. Гун, А.Г. Корчунов, М.А. Полякова // *Черные металлы*. Декабрь 2012. С. 8-15.
69. Организация малотоннажного производства наноструктурированных заготовок из многофункциональных сплавов со специальными свойствами / В.М. Колокольцев, М.В. Чукин, Г.С. Гун, Э.М. Голубчик, А.С. Кузнецова // *Труды IX конгресса прокатчиков (Том 1)*. Череповец, 16-18 апреля 2013. С. 248-251.
70. Исследование влияния технологических режимов на механические свойства и микроструктуру высокопрочной арматуры диаметром 9,6 мм / М.В. Чукин, Г.С. Гун, А.Г. Корчунов, М.А. Полякова, Н.В. Копцева, Д.К. Долгий, А.В. Лысенин // IX International Scientific

conference "New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering: a collective monograph edited by Henryk Dyja, Anna Kawalek. Series: monographs No 31. Czestochowa. 2013. Pp. 367-373.

71. Реализация проекта малотоннажного производства наноструктурированных заготовок из многофункциональных сплавов со специальными свойствами / М.В. Чукин, Г.С. Гун, Э.М. Голубчик, А.С. Кузнецова, Н.Ю. Бухвалов, К.С. Пустовойт // XIV International Scientific conference "New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering: a collective monograph edited by Henryk Dyja, Anna Kawalek. Series: monographs No 31. Czestochowa. 2013. Pp. 374-378.

72. Nanodimensional in high carbon steel structural part formation by thermal and deformation processing / Chukin M.V., Korchunov A.G., Gun G.S., Polyakova M.A., Koptseva N.V. // Vestnik of Nosov Magnitogorsk state technical university. 2013. № 5 (45). Pp. 33-35.

73. Перспективы производства высокопрочного крепежа из заготовок из углеродистых сталей с ультрамелкозернистой структурой / М.В. Чукин, М.А. Полякова, Г.Ш. Рубин, Н.В. Копцева, Г.С. Гун. // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2014. № 1. С. 39-44.

74. Исследование физико-механических свойств и структуры высокопрочных многофункциональных сплавов инварного класса нового поколения / М.В. Чукин, Э.М. Голубчик, Г.С. Гун, Н.В. Копцева, Ю.Ю. Ефимова, Д.М. Чукин, А.Н. Матушкин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (46). С. 43-48.

75. Исследование эволюции структур наносталей 20 и 45 при критических степенях пластической деформации / М.В. Чукин, Р.З. Валиев, Г.И. Рааб, Н.В. Копцева, Ю.Ю. Ефимова // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. № 4 (20). С. 89-93.

76. Исследование формирования субмикроструктурной структуры поверхностного слоя стальной проволоки с целью повышения уровня ее механических свойств / Г.С. Гун, М.В. Чукин, Д.Г. Емалеева, Н.В. Копцева, Ю.Ю. Ефимова, М.П. Барышников // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. № 3 (19). С. 84-86.

77. Формирование субмикроструктурной структуры поверхностного слоя стальной проволоки методом РКУ-протяжки / Г.С. Гун, М.В. Чукин, Д.Г. Емалеева, Н.В. Копцева, В.В. Чукин, М.П. Барышников // Труды седьмого конгресса прокатчиков. М., 2007. Т. 1. С. 364-368.

78. Дифракционный электронно-микроскопический анализ субмикроструктурной и нанокристаллической структуры конструкционных углеродистых сталей после равноканального углового прессования и последующего деформирования / М.В. Чукин, Н.В. Копцева, Р.З. Валиев, И.Л. Яковлева, G. Znik, T. Covarik // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2008. № 1 (21). С. 31-37.

79. Наноструктурирование сталемедной биметаллической проволоки / Ю.Ю. Ефимова, Н.В. Копцева, В.В. Чукин, Д.Г. Емалеева, Т.А. Зубкова, О.А. Никитенко // Материалы 66-й науч.-техн. конф. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. Т. 1. С. 49-52.

80. Колокольцев В.М., Петроченко Е.В., Молочкова О.С. Влияние химического состава, условий охлаждения при затвердевании на структуру и свойства жароизносостойких комплекснолегированных железоуглеродистых сплавов // Технология металлов. 2013. № 1. С. 10-14.

81. Производство многофункциональных сплавов инварного класса с повышенными эксплуатационными свойствами / В.М. Колокольцев, М.В. Чукин, Э.М. Голубчик, Ю.Л. Родионов, Н.Ю. Бухвалов // Металлургические процессы и оборудование. 2013. № 3 (33). С. 47-52.

82. Колокольцев В.М., Гольцов А.С., Синицкий Е.В. Влияние первичной литой структуры жароизносостойких железоуглеродистых сплавов на их коррозионную стойкость //

Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. № 2. С. 18-23.

83. Специальные чугуны, литье, термическая обработка, механические свойства: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Металлургия» (бакалавриат и магистратура) и по специальностям 150104 - Литейное производство черных и цветных металлов, 150105 – Металловедение и термическая обработка металлов (специалитет) / В.М. Колокольцев, Е.В. Петроченко, В.П. Соловьев, С.В. Цыбров / В.М. Колокольцев [и др.]; под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: МГТУ, 2009.

84. Брялин М.Ф., Колокольцев В.М., Гольцов А.С. Повышение эксплуатационных свойств отливок из жароизносостойких хромомарганцевых чугунов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. № 4. С. 22-25.

85. Влияние предварительной термической обработки на структуру и свойства углеродистых конструкционных сталей 20 и 45, наноструктурированных методом равноканального углового прессования / Н.В. Копцева, Ю.Ю. Ефимова, М.В. Чукин., М.А. Полякова // Черные металлы (пер. с нем.). 2010. июль. С. 14-19.

86. Формирование структуры и механических свойств углеродистой конструкционной стали в процессе наноструктурирования методом равноканального углового прессования / Н.В. Копцева, Ю.Ю. Ефимова, М.П. Барышников, О.А. Никитенко // Деформация и разрушение материалов. 2011. № 7. С. 11-17.

87. Criterion estimation of severe plastic deformation efficiency from the position of their influence on the carbon steel structures evolution / M.V. Chukin, N.V. Koptseva, J.J. Efimova, O.A. Nikitenko, M.A. Polyakova // CIS Iron and Steel Review, 2010. Pp. 28-31.

88. Механические свойства углеродистой конструкционной стали с ультрамелкозернистой структурой / М.В. Чукин, Н.В. Копцева, О.А. Никитенко, Ю.Ю. Ефимова // Черные металлы, специальный выпуск. 2011. С. 54-59.

89. Влияние температуры и длительности нагрева на термостабильность углеродистых конструкционных сталей с ультрамелкозернистой структурой, сформированной методом равноканального углового прессования / Н.В. Копцева, Ю.Ю. Ефимова, М.П. Барышников, Д.А. Михоленко // Деформация и разрушение материалов. 2011. № 8. С. 14-20.

90. Копцева Н.В., Михоленко Д.А., Ефимова Ю.Ю. Эволюция микроструктуры и свойств при нагреве феррито-перлитных углеродистых конструкционных сталей с ультрамелкозернистой структурой, сформированной интенсивной пластической деформацией // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7. № 9. С. 85-91.

91. Исследование структуры и свойств болтов, изготовленных из наноструктурированных углеродистых сталей / Ю.Ю. Ефимова, Н.В. Копцева, В.В. Чукин, М.А. Полякова, М.П. Барышников // Обработка сплошных и слоистых материалов: Межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. М.В. Чукина. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. № 38. С. 144-150.

92. Инновационный потенциал новых технологий производства метизных изделий из наноструктурных сталей / М.В. Чукин, Н.В. Копцева, М.П. Барышников, Ю.Ю. Ефимова, А.Д. Носов, Е.П. Носков, Б.А. Коломиец // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. № 2 (26). С. 64-68.

93. Копцева Н.В., Полякова М.А., Ефимова Ю.Ю., Кузнецова А.С., Мохнаткин А.В. Микроструктура и физико-механические свойства объемных ультрамелкозернистых материалов: Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2010620405 (29.07.2010); заяв. № 201062026 (07.06.2010); опубл. 20.12.2010. Бюл. ОБПБТ № 4 (75). С. 551.

94. Чукин М.В., Барышников М.П., Беляев А.О. Методика оценки коэффициента пропорциональности в процессах ОМД с применением средств объектно-ориентированного программирования // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2008. № 4 (24). С. 76-79.

95. Чукин М.В., Барышников М.П., Беляев А.О. Подход к определению коэффициента трения в задачах обработки металлов давлением на основе представления области контакта

- как некомпактной среды // Известия вузов. Черная металлургия. М.: НИТУ «МИСиС». 2010. № 3. С. 25-28.
96. Барышников М.П., Чукин М.В., Бойко А.Б. Анализ программных комплексов для расчета напряженно-деформированного состояния композиционных материалов в процессах обработки давлением // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. № 4 (40). С. 72-74.
- 97 Моделирование процесса волочения проволоки с учетом неоднородности структуры в программном комплексе SIMULIA ABAQUS / М.П. Барышников, М.В. Чукин, Г.С. Гун, А.Б. Бойко // Пластическая деформация металлов. Днепропетровск. 2014. С. 156-158.
98. R. Courant, K. Friedrichs, H. Lewy. Über die partiellen Differenzgleichungen der mathematischen Physik // Mathematische Annalen. 1928. Т. 100. № 1. С. 32–74.
99. Т. Тоффоли, Н. Марголус. Машины клеточных автоматов: Пер. с англ. М.: Мир, 1991. 280 с.
100. Рубин Г.Ш. , Шишов А.А. Клеточно-автоматные модели деформируемой среды // Труды восьмого конгресса прокатчиков. Магнитогорск, 2010. С. 451–453.
101. Методологический подход к управлению качеством метизной продукции, основанный на нечетких множествах / Г.Ш. Рубин, Ф.Т. Вахитова, В.Н. Лебедев, Е.Н. Гусева, А.А. Шишов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. № 4 (28). С. 50-53.
102. Управление качеством продукции в технологиях метизного производства: Монография / Корчунов А.Г., Чукин М.В., Гун Г.С., Полякова М.А. М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2012. 164 с.
103. Разработка теории квалиметрии метизного производства / Г.Ш. Рубин, М.В. Чукин, Г.С. Гун, Д.М. Закиров, И.Г. Гун // Черные металлы. Июль 2012. С. 15-21
104. Протипология – новый этап развития стандартизации метизного производства / Г.Ш. Рубин, М.А. Полякова, М.В. Чукин, Г.С. Гун // Сталь. 2013. № 10. С. 84-87.
105. Разработка теории квалиметрии производства металлоизделий / Г.С. Гун, М.В. Чукин, И.Г. Гун, А.Г. Корчунов, И.Ю. Мезин, Г.Ш. Рубин, Д.М. Закиров // Труды IX конгресса прокатчиков (Том 1). Череповец, 16-18 апреля 2013. С. 237-244.
106. Квалиметрия в металлургии / Г.Ш. Рубин, Г.С. Гун, М.В. Чукин, А.Г. Корчунов // Качество в производственных и социально-экономических системах: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Курск, 2013. С. 185-189.
107. Разработка теории квалиметрии в металлургической отрасли / G.Sh. Rubin, G.S. Gun, M.V. Chukin, I.G. Gun, A.G. Korchunov // XIV International Scientific conference “New technologies and achievements in metallurgy and materials engineering: a collective monograph edited by Henryk Duja, Anna Kawalek. Series: monographs No 31. Czestochowa. 2013. P. 51-55.
108. Metallurgy qualimetry theory design and develorment / G.S. Gun, G.Sh. Rubin, M.V. Chukin, I.G. Gun, I.U. Mezin, A.G. Korchunov // Vestnik of Nosov Magnitogorsk state technical university. 2013. № 5 (45). P. 67-69.
109. Гун Г.С., Чукин М.В., Рубин Г.Ш. Управление качеством в метизном производстве // Металлургические процессы и оборудование. ООО «Технопарк Дон ГТУ «УНИТЕКС» (Донецк, Украина). 2013. № 4(34). С. 106-112.
110. Разработка и развитие теории квалиметрии металлургии / Г.С. Гун, Г.Ш. Рубин, М.В. Чукин, И.Ю. Мезин, А.Г. Корчунов, И.Г. Гун // Материалы 10-й Междунар. науч.-техн. конф. «Современные металлические материалы и технологии (СММТ'13)» (25-29 июня 2013 г. Санкт-Петербург). СПб., 2013.
111. Научно-педагогическая школа Магнитогорского государственного технического университета по управлению качеством продукции и производственных процессов / Г.С. Гун, И.Ю. Мезин, А.Г. Корчунов, М.В. Чукин, И.Г. Гун, Г.Ш. Рубин // Качество в обработке материалов. 2014. № 1. С. 5-8.

112. Генезис научных исследований в области качества металлопродукции / Г.С. Гун, И.Ю. Мезин, Г.Ш. Рубин, А.А. Минаев, А.Е. Назайбеков, Х. Дыя // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (46). С. 92-97.
113. Концептуальная модель ситуационного центра промышленного предприятия / М.Б. Гитман, К.С. Пустовойт, В.Ю. Столбов, С.А.Федосеев, Г.С. Гун // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (46). С. 102-107.
114. Актуальные проблемы квалиметрии метизного производства в период зарождения шестого технологического уклада / Г.С. Гун, М.В. Чукин, Г.Ш. Рубин, И.Ю. Мезин, А.Г. Корчунов // Металлург. 2014. № 4. С. 92-95.
115. Рубин Г.Ш. Квалиметрия метизного производства: монография / Г.Ш. Рубин. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. 167 с.
116. Рубин Г.Ш., Герасимова З.А., Вайсман Д.И. Расчет и анализ использования производственных мощностей метизной промышленности: Монография. М.: Металлургия, 1985. 48 с.
117. 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.
118. Об оценках пластического формоизменения / Г.С. Гун, А.И. Крылов, Г.Ш. Рубин и др. // Известия АН СССР. Металлы. 1976. № 6. С. 109-112.
119. Сравнение различных способов обработки металлов давлением по эффективности формоизменения / Г.Ш. Рубин, Г.С. Гун, Ю.П. Богатырев и др. // Известия ВУЗов, Черная металлургия. 1980. № 5. С. 52-54.
120. Выбор эффективной технологии получения профилей повышенной точности для машиностроения / Г.Ш. Рубин, Г.С. Гун, Е.А. Пудов и др. // Известия ВУЗов. Машиностроение. 1981. № 5. С. 155-157.
121. Исследование процесса высадки двухфланцевых шипов противоскольжения с использованием компьютерного моделирования / В.В. Андреев, Г.С. Гун, Г.Ш. Рубин, А.Г. Ульянов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2008. № 1 (21). С. 45-49.
122. Корчунов А.Г. Управление качеством метизной продукции на основе нечетких моделей описания технологической наследственности // Металлург. 2009. № 5. С. 50-53.
123. Korchunov A., Chukin M., Lysenin A. Methodology of developing mathematical models with fuzzy logic elements for quality indices control // Applied Mechanics and Materials Vol. 436 (2013). Pp. 374-381.
124. Корчунов А.Г., Лысенин А.В. Управление качеством метизной продукции в условиях неопределенности технологической информации // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. № 3 (39). С. 43-45.
125. Корчунов А.Г. К вопросу обеспечения качества продукции в технологиях метизного производства // Металлург. 2008. № 10. С. 67-72.
126. Корчунов А.Г. Совершенствование методики управления качеством продукции в технологических процессах метизного производства // Производство проката. 2008. № 12. С. 8-13.
127. Корчунов А.Г. Методология управления показателями качества продукции в технологиях метизного производства на основе моделей с элементами нечеткой логики: дис. ... д-ра техн. наук: 18.05.2010 / Корчунов Алексей Георгиевич. Магнитогорск, 2010. 320 с.
128. Голубчик Э.М. Адаптивное управление качеством металлопродукции // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (45). С. 63-69.
129. Голубчик Э.М. Телегин В.Е., Рубин Г.Ш. Применение принципов технологической адаптации при управлении показателями качества в многовариантной технологической системе изготовления холоднокатаной ленты // Качество в обработке материалов. 2014. № 1. С. 34-41.

130. Применение адаптационных механизмов для повышения качества продукции с глубокой степенью переработки / Э.М. Голубчик, А.Г. Корчунов, К.Г. Пивоварова, А.В. Лысенин // Вестник Воронежского гос. техн. ун-та. 2011. № 5. С. 131-134.
131. Голубчик Э.М. Адаптивные подходы к управлению качеством продукции в многовариантных технологических системах // Методы менеджмента качества. 2013. № 7. С. 36-41.
132. Рубин Г.Ш., Полякова М.А. Развитие научных основ стандартизации // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (45). С. 97-102.
133. Полякова М.А., Рубин Г.Ш. Современное направление стандартизации как науки // Черные металлы. 2014. № 6. С. 32-37.
134. Зюлин В.Д., Харитонов В.А. Устойчивость высокой полосы при прокатке в гладких валках. Сообщение 1 // Известия вузов. Черная металлургия. 1981. № 6. С. 60-63.
135. Зюлин В.Д., Харитонов В.А. Устойчивость высокой полосы при прокатке в гладких валках. Сообщение 2 // Известия вузов. Черная металлургия. 1982. № 2. С. 32-35.
136. Харитонов В.А. Развитие теории и технологии прокатки в четырехвалковых калибрах проволоки различного назначения // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: Межрегион. сб. науч. тр. Магнитогорск. 2002. С. 273-277.
137. Харитонов В.А., Корчунов А.Г., Зайцева М.В. Повышение эффективности технологического процесса изготовления низкоуглеродистой арматурной проволоки // Производство проката. 2005. № 8. С. 21-25.
138. Способ изготовления биметаллической проволоки: пат. 2008109 Рос. Федерация / В.Л. Стебляно, Г.В. Бухиник, И.В. Ситников, В.В. Веремеенко, В.Л. Трахтенгерц, В.И. Людьчак.

УДК 621.778.5: 677.721

КАЛИБРУЮЩЕЕ ОБЖАТИЕ КАНАТОВ ДВОЙНОЙ СВИВКИ В РОЛИКОВОЙ ВОЛОКЕ*

Харитонов В.А., Лунев В.Е., Полякова М.А., Ефимова Ю.Ю.
*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия*

Стальные канаты различных конструкций находят в настоящее время широкое применение практически во всех отраслях экономики, в связи с чем, повышение их конкурентоспособности на отечественных и зарубежных рынках является актуальной задачей для металлургической отрасли черной металлургии Российской Федерации. Особенно это важно для подвижных канатов двойной свивки, которые являются массовым видом металлопродукции с глубокой степенью переработки и высокой добавленной стоимостью.

Особенностью этих канатов является также и то, что они эксплуатируются в условиях сложного напряженного состояния, постоянно подвергаясь одновременному действию растяжения, изгиба и кручения. Это требует от канатов прежде всего высокой изгибной жесткости. В целом же работоспособность канатов зависит от свойств проволоки, конструктивных и технологических режимов свивки прядей и канатов, способов и режимов силовой обработки: преформации, рихтовки, вытяжки (обтяжки), механикотермической обработки, пластического обжатия.

Наиболее широко применяемым в зарубежной и отечественной практике технологическим приемом является пластическое обжатие прядей и последующая их свивка в канаты. Такие канаты имеют обозначение ПК и представляют следующую ступень в эволюции развития стальных канатов по сравнению с канатами типа ТК и ЛК.

*Работа подготовлена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках выполнения государственного задания Магнитогорскому государственному техническому университету им. Г.И. Носова № 11.1525.2014К от 18.07.2014 г.

В зависимости от степени обжатия пряди процесс можно условно разделить на две фазы. Первая фаза – фаза заполнения пустот в пряди.

Деформация проволок при этом имеет характер плющения без существенной вытяжки. На второй фазе происходит деформация составной заготовки с существенной вытяжкой проволок. В связи с этим выделяются следующие варианты обжатия прядей: глубокие (коэффициент линейного обжатия $n_{\lambda} > 8\%$), средние ($n_{\lambda} = 3 - 4 \%$), калибровка ($n_{\lambda} = 0 - 3 \%$).

Основные исследования по разработке теории обжатия прядей, проведенные как у нас в стране, так и за рубежом, посвящены глубокому обжатию. Соответственно, эти режимы нашли свое применение и в практике канатного производства [2]. Проведенный аналитический обзор публикаций позволяет выделить преимущества канатов из обжатых прядей перед стандартными круглопроволочными канатами [1, 2].

Это, прежде всего, увеличение заполнения сечения металлом на 5 – 10 % по сравнению с канатами ЛК; увеличение работоспособности в среднем в 1,3 – 1,6 раза; увеличение износостойкости в 2,0 – 2,5 раза по сравнению с недеформированными канатами той же конструкции за счет уменьшения контактных напряжений между элементами каната и образования поверхностного контакта (ПК) и коррозионной стойкости за счет препятствования попаданию влаги и абразивов, а также удержания канатной смазки внутри пластически деформированной пряди, что объясняется уменьшением технологических зазоров и образованием кольца клиновидных проволок. Увеличение разрывной прочности на 20 – 30 % по сравнению с круглопроволочными аналогами того же диаметра и материала за счет увеличения прочности проволок и улучшения их совместной работы, что обеспечивает увеличение долговечности, либо позволяет увеличивать нагрузки при сохранении прежнего запаса прочности, при этом повышается продольная жесткость обжатых прядей. Увеличение сопротивляемости поперечным деформациям (раздавливанию) с увеличением степени обжатия прядей за счет формирования прочного кольца в слоях из проволок клиновидной формы обеспечивает более равномерное распределение напряжений между элементами пластически обжатых прядей и канатов из них. Устранение эффекта «закусывания» проволок верхнего повива между проволоками смежной пряди приводит к снижению нагрузки на проволоки верхнего повива и риск их преждевременного выхода из строя. Возможность изготовления прядепроволок, отличающихся гибкостью и усталостной прочностью, а также снижение потерь от релаксации напряжений арматурного каната позволяет в значительной степени расширить возможности конструирования прядей и канатов в связи с вариантом обжатия некруглых прядей-заготовок из проволок меньшего числа типоразмеров, что в свою очередь ведет к упрощению производства и увеличению производительности прядевьющего оборудования за счет увеличения коэффициента свивки до 10-12. Минимальное действие сил упругой отдачи на концы оборванных проволок прядей вследствие уменьшения свивочных напряжений в процессе обжатия приводит к тому, что оборванные концы, не отслаиваясь от пряди, занимают место в промежутках между элементами каната, не мешая его работе. Кроме того, канаты из обжатых прядей широко используются на грузоподъемных устройствах в условиях Крайнего Севера.

Несмотря на весомые положительные результаты применения пластических обжатий, уровень промышленного производства канатов типа ПК, остается невысоким. В связи с тем, что обжатию подвергается сложно дискретный объект (прядь), состоящий из значительного числа элементов (проволок), которые в процессе деформации изменяют свою первоначальную круглую форму, длину и свойства, возникает ряд технологических сложностей: требуется усиление привода прядевьющей машины и увеличение жесткости основных узлов оборудования; уменьшение площади металлического сечения и наклеп снижают работоспособность каната; появление «подрезов» на поверхности изделия, являющихся концентраторами напряжений и обуславливающих избыточную массу каната из-за наличия необжатых участков.

Появление «подрезов» объясняется попаданием деформируемого металла в технологические разъемы между роликами.

Выбор степени и инструмента для обжатия должен обуславливаться условиями эксплуатации каната. Опыт изготовления и применения пластически обжатых канатов одинарной свивки и канатов двойной свивки из пластически обжатых прядей показал, что глубокое пластическое обжатие рационально в случаях, когда от каната требуется высокая прочность, износостойкость при абразивном износе, продольная и поперечная жесткости, малые упругие и остаточные удлинения. Это прежде всего грозозащитные тросы, ваерные и арматурные канаты, прядепроволока [1, 2].

Целью данной работы является описание опыта применения калибрующего обжатия (до полного заполнения пустот в пряди) прядей, оценка возможности агрегатного калибрующего обжатия канатов двойной свивки и определение направлений дальнейших исследований по освоению промышленного производства таких канатов.

Калибрующее обжатие позволяет сохранить возможность перемещения проволок относительно друг друга, что, в первую очередь, необходимо для подвижных канатов. Кроме того, проведенные исследования показали [2], что интенсивность изменения контактных напряжений между проволоками в пряди при увеличении ширины площадки контакта в диапазоне от 0,3 до 1,2 мм составляют 9 ГПа/мм, при увеличении же площадки контакта от 1,2 до 3,3 мм – порядка 1,4 ГПа/мм, т.е. уменьшается практически в 6 раз. Таким образом, применение глубоких обжатий для снижения контактных напряжений в проволоках нецелесообразно и приводит к дополнительным нагрузкам на оборудование, инструмент и ведет к дополнительным затратам.

Результаты исследований по применению калибрующего обжатия прядей для изготовления канатов двойной свивки впервые описаны Малиновским В.А. [1]. Опыты проводились с канатами конструкции $6 \times 19(1+9+9)+o.c.$ диаметром 16 мм и $6 \times 19(1+9+9)+m.c.$ диаметром 18 мм. Результаты испытаний на пробегной машине до потери 10 % несущей площади сечения показали, что для первого каната оптимальной степенью обжатия, обеспечивающей повышение долговечности каната в 1,9 раза, является значение $n_d = 4 \%$. Для второго каната оптимальное значение $n_d = 3,5\%$. Долговечность каната при этом была повышена в 2,5 раза. Увеличение степени обжатия пряди до $n_d = 9,5\%$ по сравнению с исходным состоянием каната повысило его долговечность только в 1,8 раза, а по сравнению с оптимальным значением обжатия долговечность каната понизилась в 1,4 раза.

Калибровка прядей каната конструкции $6 \times 19(1+6+6/6)o.c.$ диаметром 16,5 мм со степенью обжатия $n_d = 3\%$ обеспечило увеличение долговечности каната при работе на блоках в 1,2 раза. На основании анализа проведенных исследований был сделан следующий вывод: калибровка прядей сама по себе решает задачу существенного увеличения долговечности каната. При калибровке пряди происходят только небольшие упругопластические деформации проволок на поверхности и в местах взаимного контакта, но их уже достаточно, чтобы на порядок уменьшить контактные напряжения при работе каната.

Однако развития эти работы не получили, и к ним вернулись только в настоящее время. Так, на отечественных метизных предприятиях (ОАО «Магнитогорский метизно-металлургический завод «ММК-МЕТИЗ», ОАО «Северсталь-метиз», ОАО «Белорецкий металлургический комбинат») проводятся работы по освоению производства канатов двойной свивки из «калиброванных» прядей. Пряди изготавливают путем пластического обжатия в роликовых волоках на прядевьющих машинах.

В Магнитогорском государственном техническом университете им. Г.И. Носова разработаны теоретические основы калибрующего обжатия многослойных прядей [3 – 8].

Калибровка прядей представляет собой сложный и эффективный прием, обеспечивающий существенное улучшение качества канатов массового изготовления за счет формирования полосового контакта проволок, обеспечения благоприятного напряженного состояния и высокой точности геометрических размеров прядей, а, следовательно, и каната. При этом в обжатой пряди сохраняется межпроволочный зазор, обеспечивающий свободное проскальзывание проволоки при изгибе пряди. Поэтому калибрующее обжатие пряди следует рассматривать как реальный технологический резерв канатного производства, реализация которого не требует больших капитальных затрат. В качестве деформирующего инструмента могут применяться как монолитные, так и роликовые волокна, устанавливаемые на прядевьющей машине непосредственно за обжимными плашками [9]. Причем предпочтение следует отдавать роликовым волокнам, т.к. их применение значительно снижает напряжения волочения и нагрузки на инструмент.

Кроме того, калибрующее роликовое волочение можно осуществлять по схеме «круг – круг», а не «круг – промежуточное фасонное сечение – круг», как это делается при глубоком обжатии. Это позволяет упростить конструкцию роликовой волокны и в два раза уменьшить количество деформирующих роликов, подшипников и т.д.

Еще больший эффект может быть получен при калибрующем обжатии каната в целом, а не прядей по отдельности. Это повысит производительность, уменьшит количество деформирующих клетей (пропорционально числу прядей в канате), что значительно снизит затраты.

Данных о производстве агрегатно обжатых канатов на отечественных и зарубежных метизных заводах в имеющейся открытой технической литературе нами не обнаружено. Поэтому в условиях завода ОАО «ММК-МЕТИЗ» были проведены экспериментальные исследования по определению технической возможности реализации этого решения, предварительной оценке полученных результатов и определению перспектив развития этого направления. Проводили исследования агрегатного обжатия каната диаметром 32,0 мм по ТУ 1251-089-00187240-2011, тип 2 конструкции 6x31(1+6+6/6+12)+7+7(1+6)АО на канатовьющей машине МК-VS1-8x250 с применением сдвоенной трехроликовой волокны 3x240. Были изготовлены 2 каната (по 1500 м каждый): с коэффициентом линейного обжатия 3,5 и 6,7 %, соответственно.

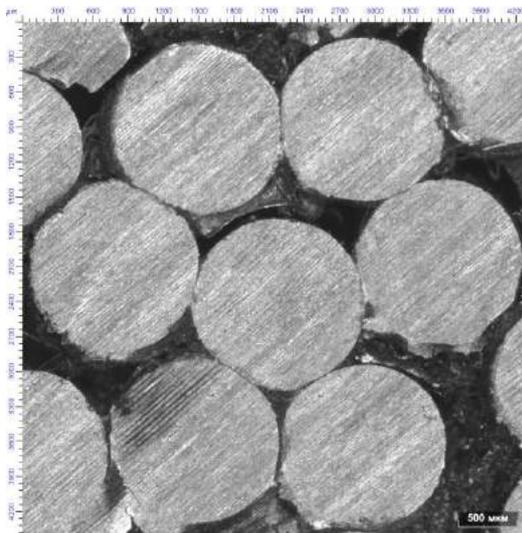
На предварительной стадии исследования были рассчитаны калибровки роликов волок, по известным методикам определены усилия волочения и давления металла на ролики. Процесс свивки, совмещенный с обжатием, на применяемых режимах проходил устойчиво. Оборудование работало нормально. Канаты по своим характеристикам соответствовали требованиям нормативно-технической документации. Однако при деформации каната с коэффициентом линейного обжатия 6,7 % нагрузки на оборудование возросли, но не подошли к предельным, а прочность каната была на 23 % выше.

От полученных канатов были отобраны образцы, и в условиях НИИ наносталей Магнитогорским государственным техническим университетом им. Г.И. Носова было проведено исследование поперечных сечений канатов, прядей и сердечников. Для исследования поверхности поперечного сечения каната использовали стереомикроскоп Meiji Techno с применением программного продукта Thixomet Pro. Для проведения исследований изготавливали шлифы по стандартной методике. Изображение поверхности получали с использованием панорамной съемки при увеличениях 7,5 и 50 крат. Вид поверхности и полученные изображения анализировали визуально и количественно с применением специализированной опции программы Thixomet Pro «Линейный размер».

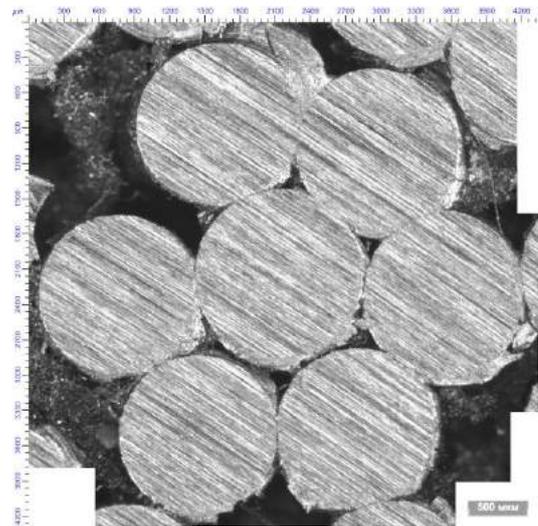
На рис. 1 - 3 представлены фотографии поперечных сечений повивочных прядей и сердечников агрегатно обжатых канатов.

В результате анализа фотографий установлено, что деформацию получили все проволоки каната, включая центральную прядь сердечника уже при коэффициенте линейного об-

жания 3,5 %. При обжати 6,7 % площадки контакта больше, но при этом наблюдаются нарушения в конструкции каната. Правда, эти нарушения наблюдались еще на стадии свивки как прядей, так и каната. Канат с обжатием 3,5 % явно выраженных конструктивных нарушений не имеет. Этот канат имеет более уравновешенное напряженное состояние.



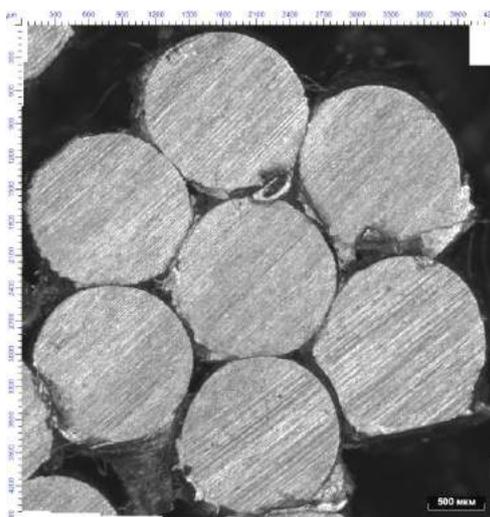
а



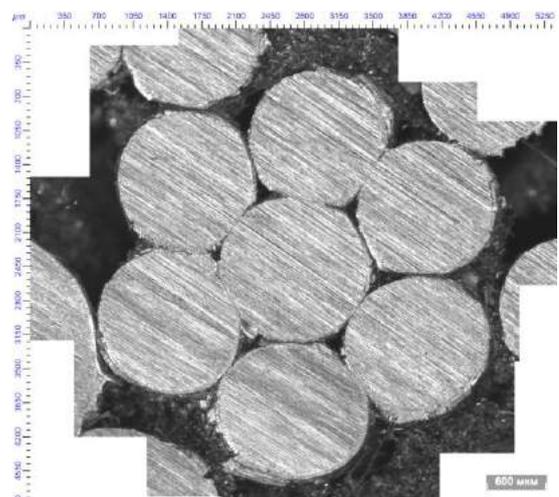
б

х 50

Рис. 1. Поперечное сечение центра и пряди сердечника агрегатно обжатого каната конструкции $6 \times 31(1+6+6/6+12)+7+7(1+6)AO$ с коэффициентом линейного обжатия 3,5 % (а) и 6,7 % (б)



а



б

х 50

Рис. 2. Поперечное сечение повивочной пряди сердечника агрегатно обжатого каната конструкции $6 \times 31(1+6+6/6+12)+7+7(1+6)AO$ с коэффициентом линейного обжатия 3,5 % (а) и 6,7 % (б)

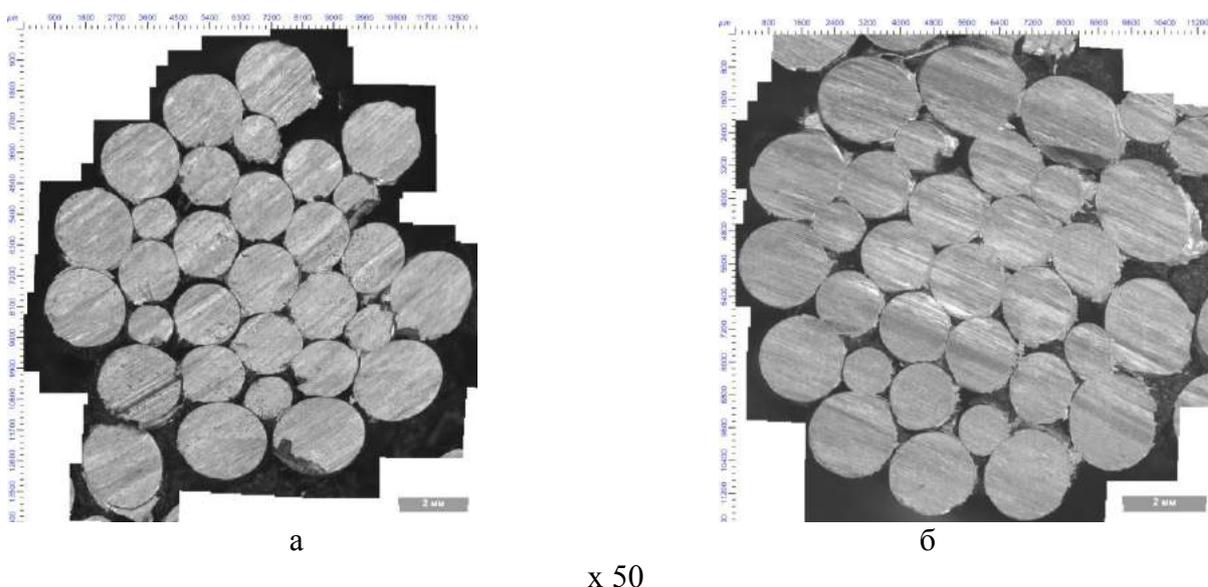


Рис. 3. Поперечное сечение пряди агрегатно обжатого каната конструкции $6 \times 31(1+6+6/6+12)+7+7(1+6)AO$ с коэффициентом линейного обжатия 3,5 % (а) и 6,7 % (б)

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Агрегатное калибрующее обжатие канатов двойной свивки на имеющемся оборудовании технически возможно и обеспечивает пластическую деформацию всех проволок каната уже при коэффициенте линейного обжатия 3,5 %.

2. По аналогии с калибрующим обжатием прядей агрегатное калибрующее обжатие канатов позволяет повысить их качество, благодаря повышенной точности геометрических размеров, обеспечению полосового контакта проволок и созданию благоприятного напряженного состояния. При этом значительно уменьшаются затраты на реализацию процесса. Все это обеспечит повышение конкурентоспособности агрегатно обжатых калиброванных канатов на отечественных и зарубежных рынках.

3. Для организации промышленного производства таких канатов необходимо провести аналитические исследования по выбору рациональных режимов обжатия для различных конструкций канатов, адаптировав имеющуюся модель расчета режимов калибрующего обжатия прядей для случая обжатия канатов.

4. Провести необходимые экспериментальные исследования и разработать соответствующую нормативную документацию.

Список литературы

1. Малиновский В.А. Стальные канаты. Часть 1: Некоторые вопросы технологии, расчета и проектирования. Одесса: Астропринт, 2001. 188 с.
2. Харитонов В.А., Лаптева Т.А. Развитие теории и технологии пластического обжатия витых изделий. – Деп. в ВИНТИ 14.02.2013. - № 6-В2013. 47 с.
3. Харитонов В.А., Лаптева Т.А. Влияние малых степеней обжатия на формирование напряженного состояния каната // Обработка сплошных и слоистых материалов: межвуз. сб. науч. тр. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. Вып. 36. С. 172-174.
4. Харитонов В.А., Лаптева Т.А. Моделирование процесса малого обжатия прядей // Обработка сплошных и слоистых материалов: межвуз. сб. науч. тр. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2011. Вып. 37. С. 176-179.

5. Харитонов В.А., Лаптева Т.А. Разработка методики управления процессом малого пластического обжата прядей // Обработка сплошных и слоистых материалов: межвуз. сб. науч. тр. Магнитогорск: Изд-во МГТУ им. Г.И. Носова. 2011. Вып. 37. С. 35-39.

6. Харитонов В.А., Лаптева Т.А. Расчет распределения деформаций по сечению пряди при круговом обжате // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. № 4. С. 47-51

7. Харитонов В.А., Лаптева Т.А. Методика определения ширины межпроволочного контакта при малом обжате прядей // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2012. № 4. С. 66-67

8. Харитонов В.А., Лаптева Т.А. Выбор режимов деформации при обжате многослойных канатов в трехроликовых волоках // Производство проката. 2013. № 8. С. 18-25.

9. Лаптева Т.А. Повышение работоспособности подвижных канатов на основе применения калибрующего обжата прядей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск, 2014. 18 с.

УДК 623.445: 531.58

ОПТИМИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОТИВОПУЛЬНОЙ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ БРОНИ ПО КРИТЕРИЮ ПРЕДЕЛЬНОЙ СКОРОСТИ ПРОБИТИЯ

Загорянский В.Г.

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского, г. Кременчуг, Украина

При разработке брони основной целью является создание самой легкой и простой ее структуры, надежно защищающей от пробивания [1]. Для средств индивидуального бронирования эта цель может быть достигнута оптимизацией свойств материала брони.

Противопульную стойкость защитной структуры бронеодежды для 1...6а классов защитной структуры бронеодежды (ГОСТ Р 50744-95 Бронеодежда. Классификация и общие технические требования) оценивают по кондиционному поражению, представляющему собой отсутствие проникания пули и продуктов взаимодействия пули с защитным элементом за тыльную сторону защитной структуры бронеодежды. Здесь термину "проникание" придается несколько избыточная смысловая нагрузка, так как традиционно под прониканием понимают вход тела (в данном случае пули) в мишень без образования в ней сквозного отверстия (в отличие от пробивания, при котором тело или его осколки проходят мишень насквозь) [2].

Известно [3], что для пластин бронежилетов, предназначенных для защиты от поражающих элементов (автоматные и винтовочные пули) со скоростью 500 м/с и выше (класс защитной структуры бронеодежды – 3 и выше по классификации стандарта ГОСТ Р 50744-95), применение текстильной и органопластиковой брони уже неприемлемо и защитные структуры должны быть чисто металлическими или комбинированными (из металлических, керамических или композиционных элементов).

Броневая сталь обеспечивает защиту до 5-го класса включительно по классификации ГОСТ Р 50744-95 при толщине пластины до 6,5 мм (толщины больше 6,5 мм неприменимы из-за ограничения по массе [3]).

Металлическая броня по структуре по поперечному сечению, "слоистости" подразделяется на гомогенную, примерно однородную по твердости и вязкости по сечению, и гетерогенную, имеющую наружный (воспринимающий удар средства поражения) слой высокой прочности и тыльный (или тыльные) вязкий, пластичный слой, который не создает осколков или так называемого тыльного скола, поражающих запреградное пространство, то есть, если речь идет о средствах индивидуального бронирования, тело человека.

Гомогенная броня используется трех типов – высокой твердости (σ_B - не менее 1500 МПа, твердость - НВ 514...363, применяется как противоположная), средней твердости (σ_B - не менее 950 МПа, твердость - НВ 341...285) и низкой твердости (σ_B - не менее 700 МПа, твердость - НВ 255...217) [4]. В средствах индивидуальной защиты используют противоположные броневые стали высокой твердости, подверженные закалке на мартенсит и низкому отпуску [3].

Твердость наружного слоя гетерогенной брони повышается поверхностной закалкой [4].

Механическое соединение полос броневой стали с полосами пластичного материала позволяет создать эффективную противоположную броню (биметаллическую, композиционную), но такая броня из-за сложности изготовления и большой стоимости в Российской Федерации применяется редко [4].

Также отмечается [3], что серийное производство биметаллической брони с внешним слоем высокой твердости (55...60 HRC) и тыльным вязким слоем, которую можно получить, например, сваркой взрывом, пакетной прокаткой или иными способами, в Российской Федерации пока не освоено, хотя на Западе она используется достаточно широко.

Исследователи Кременчугского национального университета имени Михаила Остроградского провели серию экспериментов, в результате которых сваркой взрывом по оригинальной технологии были получены композиции, основу которых составили пластины рессорной стали 65Г (внешний твердый слой) и листового алюминия АД0 (тыльный вязкий слой, подложка) [5]. Прострел этих композиций по требованиям ГОСТ Р 50744-95 показал, что они могут служить эффективными пластинами для бронезилов по 5-му классу стойкости защитной одежды.

Отметим, что в связи с неосвоенностью технологий изготовления биметаллической противоположной брони в Российской Федерации, вопросы взаимодействия такой брони с поражающими элементами в литературе не освещены; то же касается и украинских исследований до последнего времени.

Отмечается [2], что задачей, с которой сталкиваются при изучении явлений соударения, и имеющей первостепенное значение во всех случаях, когда соударение может вызвать повреждение, является определение предельной скорости, ниже которой метаемый предмет уже не в состоянии пробить преграду или какое-нибудь защитное устройство навывлет.

Таким образом, предлагается в качестве критерия эффективности противоположной биметаллической брони принять параметр поражающего элемента (в данном случае пули) – скорость пули, ниже которой не происходит пробивание преграды (только проникание). Этот параметр, определяемый свойствами преграды, в разных источниках, имея одинаковый физический смысл, назван по-разному. Так, в работе [2] эту скорость называют критической скоростью соударения, или баллистическим пределом. В работах В.А. Григоряна с сотрудниками [3, 6] и других (например, [4]) эта скорость названа "предельная скорость сквозного пробития преграды".

В работе [4] дается определение: под пределом сквозного пробития $V_{псп}$ понимается минимальная скорость встречи пули с преградой толщиной b , при которой происходит ее сквозное пробитие.

Таким образом, зная скорость пули при соударении V_c и зависимости предельной скорости пробития $V_{псп}$ от характеристик брони (в первую очередь, от ее толщины и механических свойств), задача сводится к определению таких характеристик брони, при которых выполняется условие

$$V_c < V_{псп}. \quad (1)$$

Цель работы – на основе разработки закономерностей предельной скорости пробития двухслойной противопульной брони, как преграды, создать оптимизационную математическую модель, позволяющую обосновать эффективные диапазоны параметров двухслойной брони (соотношение толщин, механические свойства слоев и композиции в целом и др.).

Материалы исследований

Отметим, что условие (1) представляет собой первое приближение зависимости, полученной Ламбертом и Джономасом [7] и перешедшей в последующие исследования [2, 3] для определения остаточной скорости снаряда V_r , представляющего собой недеформируемое или абсолютно твердое тело:

$$V_r = \begin{cases} 0, \text{ при } 0 \leq V_s \leq V_l, \\ (V_s^p - V_l^p)^{\frac{1}{p}} \cdot \alpha, \text{ при } V_s > V_l, \end{cases} \quad (2)$$

где V_s – скорость соударения, V_l – предельная баллистическая скорость. Для недеформируемых снарядов $p = 2$, α – эмпирическая константа, полученная методом регрессии. Эти исследователи принимают V_l также эмпирической константой, получаемой методом регрессии.

В формуле (2) параметр V_s соответствует V_c в формуле (1), а параметр V_l – предельной скорости пробития V_{ncn} .

В работе [8] вероятность p пробития преграды (для случая жесткого недеформируемого ударника при скорости соударения V) описывается ступенчатым законом

$$\begin{cases} p = 0 \text{ при } V < V_{ncn}, \\ p = 1 \text{ при } V \geq V_{ncn} \end{cases} \quad (3)$$

Детерминированные методы определения предельной скорости пробития используют законы сохранения и уравнения состояния материалов [7]; в предположении о том, что поражающий элемент является недеформируемым или абсолютно твердым телом, приводят к получению зависимостей вида (2).

Обзор и анализ аналитических формул для вычисления скорости сквозного пробития преград недеформируемыми ударниками дан в работах [6, 7].

Отмечается [2], что для быстрой оценки предельной скорости пробития могут, благодаря их простоте, использоваться различные эмпирические формулы (Жакоб-де-Марра, Н.А. Слезкина [6] и др.), но они вряд ли удовлетворят современного материаловеда. Заметим, что формулу Слезкина трудно назвать простой и удобной из-за необходимости интегрирования и большого числа входящих параметров; но в формулу входит предел текучести материала преграды.

Формула Жакоб де Марра в российских изданиях представлена в нескольких модификациях. Например, в работе [3] скорость сквозного пробития, м/с

$$V_{ncn} = 0,04K \frac{d_c^{0,75} \cdot b^{0,7}}{m_c^{0,5}}, \quad (4)$$

где d_c – диаметр сердечника пули, мм; b – толщина преграды, мм; m_c – масса сердечника, г; коэффициент K для пуль со стальным нетермоупрочненным сердечником принимается равным 3300, со стальным термоупрочненным сердечником K принимается равным 3000.

Эта же формула в работе [2] имеет вид

$$V_{ncn} = K \frac{d_c^{0,75} \cdot b^{0,7}}{m_c^{0,5} \cdot \cos \alpha}, \quad (5)$$

где α – угол подхода ударника к мишени, отсчитываемый от нормали к поверхности брони; коэффициент бронепробиваемости K в этом случае принимается равным 1900...2100 для остроголовых ударников и равным 2100...2300 для ударников с притупленной головной частью.

Приведенная в работе [4] формула аналогична (4), но коэффициент K здесь характеризует уровень прочности брони: $K = 1600...1800$ для брони низкой твердости, $K = 1800...2000$ – для брони средней твердости, и $K = 2000...2200$ – для брони высокой твердости; α – угол встречи (угол между нормалью к поверхностью брони и вектором скорости пули). При нормальном соударении пули и преграды угол α будет равен нулю, косинус такого угла равен единице.

На основе экспериментальных данных в работе [3] делается вывод, что для пули ПС-43 (испытания бронеодежды по 5-му классу защитной структуры) формула (5) модифицируется к виду (изменяется показатель степени при толщине b преграды):

$$V_{ncn} = 141 \frac{d_c^{0,75} \cdot b^{0,5}}{m_c^{0,5}}. \quad (6)$$

Характеристики сердечника пули ПС-43 (с 1992 года – с термоупрочненным сердечником) к патрону 7,62 мм: диаметр сердечника $d_c = 5,85$ мм, масса сердечника $m_c = 3,56$ г [3].

В работе [3] приводится график зависимости предельной скорости пробития от толщины стальной пластины, полученный с использованием модифицированной формулы Жакоб де Марра (6).

Известна также формула Ламберта [3] (размеры – в см, масса – в граммах)

$$V_{ncn} = K_L \left(\frac{l}{d_c} \right)^{0,15} \sqrt{\frac{d_c^3 \cdot f(z)}{m_c}}, \quad (7)$$

где K_L – постоянная, характеризует свойства материала преграды, удовлетворительная сходимость с экспериментом достигается при $K_L = 5000...5500$; l – длина ударника, см; $z = b/d_c$; $f(z) = z + e^{-z} - 1$. Формула Ламберта хорошо аппроксимирует экспериментальные значения при $z > 1,5$, то есть для сердечника пули ПС-43 толщина брони должна составлять не менее 8,78 мм, тогда как по соображениям веса броня толще 6,5 мм неприемлема [3]. Для меньших соотношений z формула Ламберта экспериментально не подтверждена.

Модификацией формулы Жакоб де Марра, учитывающей не только толщину брони, но и механические свойства, является формула К.А. Березина [4].

$$V_{ncn} = 175 \sqrt{0,1 K_\phi \cdot \sigma_{0,2} \cdot (1 + \phi)} \frac{d_c \cdot b^{0,5}}{m_c^{0,5} \cdot \cos \alpha}, \quad (8)$$

где $\sigma_{0,2}$ – предел текучести материала брони, МПа;

$$K_\phi = 0,47 \left(\frac{i}{1 + \phi} + \frac{b}{d_c} \right), \quad (9)$$

$$\varphi = \frac{m_{np}}{m_c} = \frac{\pi d_c^2 b \rho}{4m_c}, \quad (10)$$

где m_{np} – масса пробки, выбиваемой сердечником из брони, равная произведению объема цилиндра с образующей, равной диаметру сердечника, на плотность материала преграды; ρ – плотность материала преграды; i – коэффициент формы пули, который для сверхзвуковых скоростей полета пули по закону сопротивления воздуха Сиауччи можно определить по формуле [4]

$$i = 1,1 - 0,343 \frac{h_1}{d_c} + 0,042 \left(\frac{h_1}{d_c} \right)^2, \quad (11)$$

где h_1 – высота оживальной части пули.

Высота h_1 оживальной части для пуль патрона обр. 43 г. к автомату Калашникова равна $2d$ [4], где d – калибр. Приняв калибр равным 7,62 мм (в действительности диаметр ведущей части пули равен 7,87...7,92 мм [9]), высоту оживальной части принимаем равной 15,24 мм (максимальная разница будет до 4 %, что несущественно). Для данной пули баллистический коэффициент равен 4,08 м²/кг [9]. Из этого же источника принимаем начальную скорость пули (автомат АКМ) $V_0 = 710...725$ м/с.

Отметим, что бронепластина по 5-му классу защиты по ГОСТ Р 50744-95 должна обеспечивать защиту тела человека от поражающих элементов из следующих средств поражения (видов оружия):

- винтовка СВД, патрон 7,62×54 мм; пуля массой 9,6 г (стальной нетермоупрочненный сердечник), скорость – 820...840 м/с. Дистанция обстрела – 5...10 метров.
- автомат АКМ, 7,62×54 мм; пуля массой 7,9 г (стальной термоупрочненный сердечник), скорость – 7100...740 м/с. Дистанция обстрела – 5...10 метров.

Из массива известных эмпирических и полуэмпирических формул для определения параметров, характеризующих взаимодействие ударника и плиты, (формулы Ламберта и Жена, Нобля, Жакоб де Марра, Березина, Забудского, ЛФМИ, Вуича и т.д. [6, 10]), принимаем формулу (8) К.А. Березина, благодаря ее простоте и тому, что в ней учитываются толщина преграды и ее прочность.

Приняв зависимость (8) К.А. Березина в качестве зависимости для определения предельной скорости сквозного пробития, которая должна быть не меньше скорости пули при соударении V_0 (принимаем ее равной начальной скорости пули), можно найти для этого условия минимальную толщину преграды и минимальный предел текучести материала преграды.

Таким образом, математическая модель данной оптимизационной задачи:

– в качестве переменных принимаем толщину преграды b и предел текучести материала преграды $\sigma_{0,2}$;

– целевая функция – предельная скорость пробития (выражение (8))

$$L = V_{ncn} = 175 \sqrt{0,1 K_\phi \cdot \sigma_{0,2} \cdot (1 + \varphi) \frac{d_c \cdot b^{0,5}}{m_c^{0,5} \cdot \cos \alpha}} \rightarrow \min; \quad (14)$$

– при ограничениях

$$\begin{cases} V_{ncn} \geq V_0, \\ \sigma_{0,2}, b \geq 0 \end{cases} \quad (15)$$

На рис. 1 показан рабочий лист Microsoft Excel с результатами решения оптимизационной задачи с помощью надстройки Поиск решения.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Исходные данные											
2	V_0 , м/с	720										
3	d_c , мм	5,85										
4	m_c , г	3,56										
5	h_1 , мм	15,24										
6	i	0,491482										
7	ρ , г/мм ³	0,0078										
8	φ	0,080102										
9	K_φ	0,323145										
10	α , °	0										
11												
12	Переменные											
13	$\sigma_{0,2}$, МПа	89,71092										
14	b , мм	1,360177										
15												
16	Целевая функция											
17	$V_{\text{псп}}$, м/с	720										

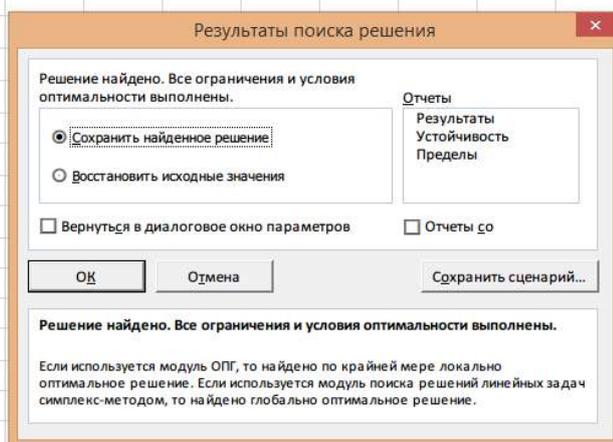


Рис. 1. Результаты численного моделирования задачи

Так как речь идет о двухслойной броне, то, варьируя толщинами слоев в композиции и их механическими свойствами, можно получать требуемую прочность композиции. Известно [11], что свойства биметалла (двухслойной композиции) можно прогнозировать на основании правила смесей, предполагающего линейную зависимость

$$y_{12} = y_1 R + y_2 (1 - R), \quad (16)$$

где y_{12} – прогнозируемое свойство биметалла; y_1 и y_2 – свойства исходных составляющих биметалла; $R = b_1/b$ – соотношение толщин одного из компонентов (i) и всей композиции.

Величина предела текучести биметалла может быть, таким образом, определена по зависимости [11]:

$$\sigma_{0,2}^{12} = \sigma_{0,2}^1 R + \sigma_{0,2}^2 (1 - R), \quad (17)$$

где $\sigma_{0,2}^1$ и $\sigma_{0,2}^2$ – пределы текучести металлов слоев биметалла.

Выводы

Из всей совокупности зависимостей для определения предельной скорости сквозного пробития принята зависимость К.А. Березина вследствие того, что в ней учитывается как толщина преграды, так и ее прочностные свойства. Разработана модель зависимости предельной скорости пробития двухслойной противопульной брони как преграды от ее параметров (толщины и механических свойств композиции в целом, а также соотношения толщин и механических свойств слоев композиции), которая может быть представлена в виде оптимизационной задачи и решена с помощью соответствующих программных инструментов (использована надстройка Поиск решения программы Microsoft Excel).

Список литературы

1. Rosenberg Z. and Dekel E. Terminal Ballistics. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012. – 323 p.
2. Балаганский И.А., Мержневский Л.А. Действие средств поражения и боеприпасов: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 408 с.

3. Материалы и защитные структуры для локального и индивидуального бронирования / В.А. Григорян, И.Ф. Кобылкин, В.М. Маринин, Е.Н. Чистяков. Под ред. В.А. Григоряна. – М.: Изд. РадиоСофт, 2008. – 406 с.
4. Данилин Г.А., Огородников В.П., Заволокин А.Б. Основы проектирования патронов к стрелковому оружию. – СПб: Балт. гос. техн. ун-т, 2005. – 374 с.
5. Драгобецкий В.В., Шаповал А.А., Загорянский В.Г. Разработка элементов средств индивидуальной защиты нового поколения на основе слоистых металлических композиций // Известия вузов. Черная металлургия. – 2015. – Т. 58. № 1. – С. 44–48.
6. Частные вопросы конечной баллистики / В.А. Григорян, А.Н. Белобородько, Н.С. Дорохов и др.; Под ред. В.А. Григоряна. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 592 с.
7. Динамика удара: Пер. с англ. / Зукас Дж. А., Николас Т., Свифт Х.Ф. и др. – М: Мир, 1985. – 296 с.
8. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. – В 2 т. – Т.2. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 656 с.
9. Патроны к стрелковому оружию (справочное пособие) / Л.В. Коломийцев, И.С. Собакарь, В.Т. Никитюк, В.В. Сомов. – Харьков, 2003. – 336 с.
10. Чан Динь Тхань. Исследование высокоскоростного взаимодействия деформируемых твердых тел: дис. ... канд. техн. наук: 01.02.04 / Чан Динь Тхань – Санкт-Петербург, 2008. – 157 с.
11. Биметаллы / Л.Н. Дмитриев, Е.В. Кузнецов, А.Г. Кобелев и др. – Пермь: Пермское книжное изд., 1991. – 415 с.

УДК 621.791

ПАРЦИАЛЬНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ПЕРЕХОДА УГЛЕРОДА, МАРГАНЦА И КРЕМНИЯ ПРИ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКЕ*

Вотинова Е.Б., Шалимов М.П.

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

Известные методы термодинамического и кинетического анализа, а также данные о механизме отдельных стадий гетерогенных реакций при моделировании ручной дуговой сварки не позволяют получить достаточно адекватную модель процесса и использовать ее для дальнейших расчетов. Это связано, прежде всего, со скоростью и кратковременностью протекания взаимодействия, а также невозможностью достоверно оценить площадь взаимодействия [1, 2].

Расчет состава шва по смешению удобен для предварительной оценки, однако дает приблизительный результат. Модель, основанная только на регрессионных уравнениях, дающих зависимость коэффициентов перехода от одного-двух параметров, является узкоприменимой. Отсутствие равновесия при сварке, сложность и не достоверность определения скоростей и времени взаимодействия, а также значений межфазных площадей при ручной дуговой сварке затрудняют использование термодинамических и кинетических моделей и, как следствие, не обеспечивают получение адекватных и надежных результатов [3, 4].

Поэтому была предложена физическая и математическая модели процесса ручной дуговой сварки, основанные на полном материальном балансе каждого из элементов в каждой из фаз.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, контракт № Н979.42Б.002/14 «Исследование физических и химических процессов в зоне сварки для создания научных основ оптимизации технологий и разработки материалов»

Физическая модель процесса ручной дуговой сварки.

Процесс сварки является достаточно сложным для изучения. Такие факторы, как высокая температура металла, скорость протекания реакций и самого процесса, зависимость конечного результата (состав, качество металла шва) от многих факторов, не позволяют изучать данный процесс непосредственно на объекте.

Физическая модель процесса сварки покрытыми электродами необходима для описания всех процессов, протекающих в зоне сварки с момента зажигания дуги и до момента окончания сварки (или достижения квазистационарного состояния). В физической модели необходимо учесть следующие процессы, протекающие в зоне сварки:

- нагрев электрода проходящим током и теплотой дуги;
- плавление основного металла;
- плавление электрода;
- химическое взаимодействие компонентов;
- перенос электродного металла в сварочную ванну;
- перемешивание основного и электродного металлов;
- кристаллизация металла шва.

Все вышеизложенное можно представить на **рис. 1** [5]: электрод является поставщиком металлических капель, которые формируют наплавленный металл. Капли формируются из стержня, металлической части покрытия и металла, восстановленного из шлака. Весь этот металл переходит в сварочную ванну, смешивается с основным металлом и после кристаллизации образует сварной шов [6].

Образующиеся во время сварки стадии и взаимодействие между фазами можно проиллюстрировать следующим образом (**рис. 2**).

Капля металла, сформировавшаяся на торце электрода, может состоять из расплавленных стержня и металлических компонентов шихты. Кроме того, капли могут быть покрыты жидким шлаком, сформировавшимся в основном при плавлении неметаллических компонентов обмазки. На границе металлической капли и жидкого шлака могут протекать окислительно-восстановительные процессы, изменяющие состав фаз. Таким образом, компоненты покрытия, в зависимости от его состава, расходуется на формирование металлической и шлаковой ванн. Сварочная ванна формируется из расплавленного электродного (капли) и основного металлов за счет перемешивания различных компонентов в данный момент времени. Так как шлак имеет меньшую плотность, чем металл, он всплывает на поверхность сварочной ванны. По мере поступательного движения электрода, сварочная ванна кристаллизуется, образуя сварной шов, покрытый шлаковой коркой.

Образующиеся во время сварки стадии и взаимодействие между фазами можно проиллюстрировать следующим образом (**рис. 2**).

Капля металла, сформировавшаяся на торце электрода, может состоять из расплавленных стержня и металлических компонентов шихты. Кроме того, капли могут быть покрыты жидким шлаком, сформировавшимся в основном при плавлении неметаллических компонентов обмазки. На границе металлической капли и жидкого шлака могут протекать окислительно-восстановительные процессы, изменяющие состав фаз. Таким образом, компоненты покрытия, в зависимости от его состава, расходуется на формирование металлической и шлаковой ванн. Сварочная ванна формируется из расплавленного электродного (капли) и основного металлов за счет перемешивания различных компонентов в данный момент времени. Так как шлак имеет меньшую плотность, чем металл, он всплывает на поверхность сварочной ванны. По мере поступательного движения электрода, сварочная ванна кристаллизуется, образуя сварной шов, покрытый шлаковой коркой.

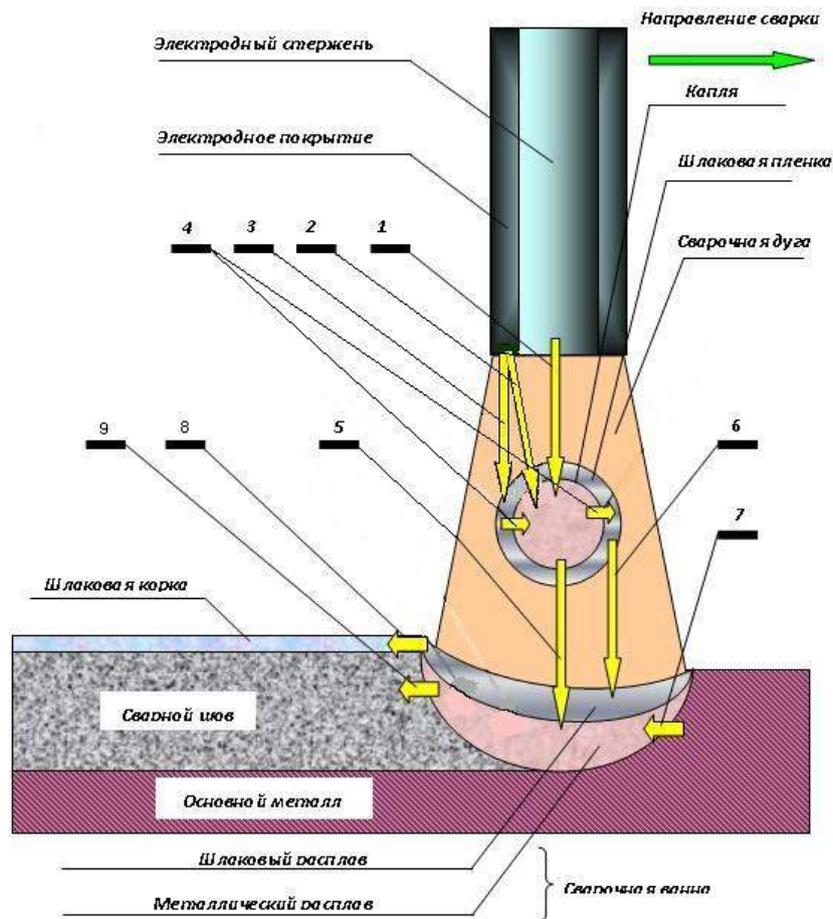


Рис. 1. Физическая модель сварки покрытыми электродами:

- 1** – плавление электродного стержня и формирование металлической капли;
- 2** – плавление металлической части электродного покрытия и формирование металлической капли;
- 3** – плавление неметаллической части электродного покрытия и формирование шлаковой пленки;
- 4** – перенос элементов из шлаковой пленки в металлическую каплю и из металлической капли и шлаковую пленку (в виде оксидов);
- 5** – перенос капель металла в металлический расплав;
- 6** – перенос шлаковой пленки в шлаковый расплав;
- 7** – плавление основного металла и формирование сварочной ванны;
- 8** – затвердевание шлакового расплава;
- 9** – кристаллизация металлического расплава



Рис. 2. Блок-схема плавления электрода

Таким образом, разработана физическая модель, которая показывает структуру процесса, взаимодействие и перенос компонентов, а также формирование металлической и шлаковой ванн.

На основе этой физической модели была разработана математическая модель процесса ручной дуговой сварки, представляющая систему уравнений на основе полного материального баланса, совместное решение которых позволяет рассчитать концентрацию элементов в наплавленном металле или металле шва. Эти же уравнения могут служить решению обратной задачи – корректировке состава покрытия в зависимости от требуемой концентрации элемента.

Математическая модель процесса ручной дуговой сварки.

В математической модели процесса сварки опишем балансовыми уравнениями, учитывающими переход всех элементов в металлическую и шлаковую ванны, их исчезновение (выгорание, окисление) и прирост (восстановление).

На основании описанного выше физического представления о процессе при выводе уравнения модели был принят ряд допущений и упрощений:

- примем, что для данного типа сварочных материалов суммарный эффект всех реакций с участием данного элемента на всех стадиях можно оценить усредненным коэффициентом перехода $\bar{\eta}_i$, сохраняющим постоянное значение в определенном диапазоне применяемого вида и состава шихтовых материалов;

- количество металла, потерянного на разбрызгивание и испарение зависит от параметров режима сварки. В модели должен быть предусмотрен коэффициент, учитывающий влияние сварочного тока на коэффициент перехода элемента, т.е. будем считать, что в модели учтены потери на разбрызгивание и испарение.

Степень (полноту) развития реакции на каждой стадии с участием элемента i в металле можно охарактеризовать коэффициентом перехода (усвоения) η_i (1), понимаемым как доля массы элемента, остающаяся в наплавленном металле (металле шва):

$$\eta_i = \frac{m_i}{m_i^o}, \quad (1)$$

где η_i - коэффициент перехода элемента i ; m_i - масса элемента i , сохранившаяся в данном объеме металла (на данной стадии) после взаимодействия, кг; m_i^o - первоначальная масса элемента i в металле, рассчитываемая путем суммирования масс элемента i во всех металлических компонентах сварочных электродов, кг.

Очевидно, что величина $(1 - \eta_i)$ представляет степень окисления (потерю) элемента i на данной стадии.

Значения η_i для каждого элемента на разных стадиях могут существенно различаться. Так, на стадии нагрева можно ожидать окисления большинства компонентов ($\eta_i < 1$), особенно элементов с большим химическим сродством к кислороду (Mn, Si, Ti, Al). На стадии капли, напротив, те же самые элементы могут заметно восстанавливаться ($\eta_i > 1$).

Величина $\bar{\eta}_i$ определяется как (2)

$$\bar{\eta}_i = \frac{m_i^{\text{напл.}}}{m_i^{\text{напл.О}}}, \quad (2)$$

где $\bar{\eta}_i$ - усредненный коэффициент перехода элемента в наплавленный металл; $m_i^{\text{напл.}}$ - масса элемента i в наплавленном металле, кг, (реальная); $m_i^{\text{напл.О}}$ - масса элемента i в наплавленном металле без учета химических реакций, кг, (рассчитанная по смешению).

Исходя из физической картины процесса, разделим создание математической модели на 2 этапа:

1 – формирование состава наплавленного металла, что позволит оценить адекватность математической модели по известным литературным данным,

2 – формирование состава сварного шва.

Рассмотрим математическую модель *формирования наплавленного металла* при сварке покрытыми электродами. Общий (усредненный) коэффициент перехода элемента показывает, какая доля элемента теряется в процессе сварке. При плавлении электрода протекают следующие процессы в дуговом промежутке:

- плавление стержня электрода и формирование капель металла;
- плавление металлической части покрытия электрода (феррокомпонентов) и формирование капель металла;
- плавление неметаллической части покрытия электрода (оксидов, органических соединений) и формирование капель шлака;
- удаление газообразных компонентов из зоны сварки;
- восстановление металлических компонентов из оксидов шлака.

В соответствии с выделенными процессами, протекающими при плавлении электрода, введем следующие обозначения:

$K_1^{\mathcal{E}_i}$ - доля массы компонента \mathcal{E}_i металлической части покрытия электрода, окисляемой газом;

$K_2^{\mathcal{E}_i}$ - доля массы компонента \mathcal{E}_i металла стержня, окисляемой газом;

$K_3^{\mathcal{E}_i}$ - доля массы оксида компонента \mathcal{E}_i неметаллической части покрытия, переходящей в металл в результате реакций восстановления на стадии капли.

Введем уравнения связывающие величины $K_1^{\mathcal{E}_i}$, $K_2^{\mathcal{E}_i}$ и $K_3^{\mathcal{E}_i}$ с парциальными коэффициентами перехода $\eta_{\mathcal{E}_i}$ (3–5):

$$1 - K_1^{\mathcal{E}_i} = \eta_{\mathcal{E}_i}^{\phi}, \quad (3)$$

$$1 - K_2^{\mathcal{E}_i} = \eta_{\mathcal{E}_i}^{\text{ст}}, \quad (4)$$

$$K_3^{\mathcal{E}_i} = \eta_{\mathcal{E}_i}^{\text{ш}}, \quad (5)$$

где $\eta_{\mathcal{E}_i}^{\text{ст}}$, $\eta_{\mathcal{E}_i}^{\phi}$, $\eta_{\mathcal{E}_i}^{\text{ш}}$ - парциальные коэффициенты перехода элемента \mathcal{E}_i в наплавленный металл из стержня, ферросплавов и шлака, соответственно.

В связи с этим можно предположить, что общий (усредненный) коэффициент перехода имеет следующую взаимосвязь с парциальными коэффициентами (6):

$$\bar{\eta}_{\mathcal{E}_i} = a\eta_{\mathcal{E}_i}^{\phi} + b\eta_{\mathcal{E}_i}^{\text{ст}} + c\eta_{\mathcal{E}_i}^{\text{ш}} = a(1 - K_1^{\mathcal{E}_i}) + b(1 - K_2^{\mathcal{E}_i}) + cK_3^{\mathcal{E}_i}, \quad (6)$$

где a , b , c – доли участия ферросплавов, электродного стержня и восстановленного из шлака металла в наплавленном металле, связаны следующим соотношением (7):

$$a + b + c = 1 \quad (7)$$

Выведем уравнение для расчета $\bar{\eta}_{\mathcal{E}_i}$ в наплавленный металл при плавлении 100 г электрода (8)

$$\begin{aligned} \bar{\eta}_{\mathcal{E}_i} = & \frac{100 \cdot (1 - K_{\text{ПОТ}} + K_{\text{CO}_2})}{m_{\text{МЕ}} (1 + K_{\text{МП}})} \eta_{\mathcal{E}_i}^{\text{СТ}} + \frac{100 \cdot (1 - K_{\text{CO}_2})}{m_{\text{МЕ}} (1 + K_{\text{МП}}) \left(1 + \frac{\alpha\beta}{100}\right)} \eta_{\mathcal{E}_i}^{\Phi} + \\ & m_{\text{МЕ}} \frac{100 \cdot (1 - K_{\text{ПОТ}} + K_{\text{CO}_2})}{(1 + K_{\text{МП}})} - \frac{100 \cdot (1 - K_{\text{CO}_2})}{(1 + K_{\text{МП}}) \left(1 + \frac{\alpha\beta}{100}\right)} \\ & + \frac{\quad}{m_{\text{МЕ}}} \eta_{\mathcal{E}_i}^{\text{Ш}}, \end{aligned} \quad (8)$$

где $K_{\text{ПОТ}}$ – относительная разность между массой наплавленного металла и шлака и массой расплавленного электрода; K_{CO_2} – относительная масса углекислого газа, удаленного при диссоциации карбонатов.

Для того, чтобы найти парциальные коэффициенты перехода, выразим усредненный коэффициент перехода через концентрации (9). Получим:

$$\bar{\eta}_{\mathcal{E}_i} = \frac{[\mathcal{E}_i]_{\text{Н.М.}}}{a \cdot [\mathcal{E}_i]_{\text{СТ}} + b \cdot [\mathcal{E}_i]_{\text{ФЕР}} + c \cdot [\mathcal{E}_i]_{\text{Ш}}}, \quad (9)$$

где $[\mathcal{E}_i]_{\text{Н.М.}}$ – концентрация элемента \mathcal{E}_i в наплавленном металле по результатам химического анализа, мас.%; $[\mathcal{E}_i]_{\text{СТ}}$ – исходная концентрация элемента \mathcal{E}_i в стержне электрода, мас.%; $[\mathcal{E}_i]_{\text{ФЕР}}$ – исходная концентрация элемента \mathcal{E}_i в ферросплавах электродного покрытия, мас.%; $[\mathcal{E}_i]_{\text{Ш}}$ – концентрации элемента \mathcal{E}_i при полном восстановлении оксида элемента $\mathcal{E}_{in}O_m$.

Определение парциальных коэффициентов перехода заключается в решении системы уравнений (10) с тремя неизвестными [7].

$$\left\{ \begin{aligned} \bar{\eta}_{\mathcal{E}_i} = a \eta_{\mathcal{E}_i}^{\Phi} + b \eta_{\mathcal{E}_i}^{\text{СТ}} + c \eta_{\mathcal{E}_i}^{\text{Ш}} = a(1 - K_1^{\mathcal{E}_i}) + b(1 - K_2^{\mathcal{E}_i}) + c K_3^{\mathcal{E}_i}, \\ m_{\mathcal{E}_i} = m_{\mathcal{ЭЛ}} \frac{1 - K_{\text{ПОТ}}}{1 + K_{\text{МП}}} \times \\ \times \left\{ \frac{[\mathcal{E}_i]_{\text{СТ}}}{100} (1 - K_2^{\mathcal{E}_i}) + \right. \\ \left. + \frac{K_{\text{МП}}}{1 + \frac{\alpha\beta}{100}} \left(\sum_{k=1}^k \frac{\% \text{фер}_k}{100} \frac{[\mathcal{E}_i]_k}{100} (1 - K_1^{\mathcal{E}_i}) + \sum_{j=1}^j \frac{\% j}{100} \frac{(\mathcal{E}_{in}O_m)_j}{100} + \frac{\alpha\beta}{100} \frac{(\mathcal{E}_{in}O_m)_{\text{СВ}}}{100} \right) \frac{M_{\mathcal{E}_i}}{M_{\mathcal{E}_{in}O_m}} K_3^{\mathcal{E}_i} \right\} \\ m_{\mathcal{E}_{in}O_m} = \frac{m_{\mathcal{ЭЛ}} (1 - K_{\text{ПОТ}})}{1 + K_{\text{МП}}} \times \\ \times \left\{ \frac{[\mathcal{E}_i]_{\text{СТ}}}{100} \frac{M_{\mathcal{E}_{in}O_m}}{M_{\mathcal{E}_i}} K_2^{\mathcal{E}_i} + \right. \\ \left. + \frac{K_{\text{МП}}}{1 + \frac{\alpha\beta}{100}} \left(\sum_{k=1}^k \frac{\% \text{фер}_k}{100} \frac{[\mathcal{E}_i]_k}{100} \frac{M_{\mathcal{E}_{in}O_m}}{M_{\mathcal{E}_i}} K_1^{\mathcal{E}_i} + \left(\sum_{j=1}^j \frac{\% j}{100} \frac{(\mathcal{E}_{in}O_m)_j}{100} + \frac{\alpha\beta}{100} \frac{(\mathcal{E}_{in}O_m)_{\text{СВ}}}{100} \right) (1 - K_3^{\mathcal{E}_i}) \right) \right\} \end{aligned} \right. \quad (10)$$

где $m_{\mathcal{E}_i}$ – масса элемента \mathcal{E}_i в данном объеме металла, кг; $m_{эл}$ – масса электрода, кг; $K_{пот}$ – коэффициент потерь, учитывающий испарение компонентов и разбрызгивание металла; $K_{мп}$ – коэффициента массы покрытия; $[\mathcal{E}_i]_{ст}$ – концентрация компонента \mathcal{E}_i в стержне электрода, мас.%; $\%фер_k$ – концентрация ферросплава k в покрытии электрода, мас.%; $[\mathcal{E}_i]_k$ – концентрация компонента \mathcal{E}_i в ферросплаве k , мас.%; $\%j$ – концентрация минерала j в покрытии электрода, мас.%; $(\mathcal{E}_{in}O_m)$ – концентрация оксида $\mathcal{E}_{in}O_m$ в минерале j , мас.%; $(\mathcal{E}_{in}O_m)_{св}$ – концентрация оксида $\mathcal{E}_{in}O_m$ в жидком стекле, мас.%; $M_{\mathcal{E}_i}$ – атомная масса элемента \mathcal{E}_i , кг/моль; $M_{\mathcal{E}_{in}O_m}$ – молекулярная масса оксида $\mathcal{E}_{in}O_m$, кг/моль; $m_{\mathcal{E}_{in}O_m}$ – масса оксида $\mathcal{E}_{in}O_m$ в шлаке, кг; α – содержание связующего (жидкого стекла) в покрытии электрода, мас.%; β – массовая доля сухого остатка связующего.

Расчет по приведенным уравнениям позволяет получить зависимости парциальных и усредненного коэффициентов перехода элемента \mathcal{E}_i в наплавленный металл в зависимости от показателя (11):

$$\eta_{\mathcal{E}_i}^n = F \cdot \left(\frac{P}{S} \right), \quad (11)$$

где P – мощность дуги, кВт; S – площадь сечения электродного покрытия, мм².

Такой подход позволяет учесть влияние параметров режима через мощность источника нагрева и относительную массу шлака, так как у электродов разных диаметров величина $K_{мп}$ разная.

Для электродов УОНИ 13/55 диаметрами 3 и 4 мм получены следующие результаты, приведенные в табл. 1:

Таблица 1

Результаты расчетов

Элемент \mathcal{E}_i	$\eta_{\mathcal{E}_i}^{\phi}$	$\eta_{\mathcal{E}_i}^{ст}$	$\eta_{\mathcal{E}_i}^{\text{ш}}$	$\eta_{\mathcal{E}_i}^{-н.м.}$
С	0	1,443 – 2,17 (P/S)	-	1,20 – 1,61 (P/S)
Mn	1,11 – 0,21 P	0,86 – 1,65 (P/S)	-	0,78 – 0,94 (P/S)

Рассмотрим математическую модель *формирования сварного шва* (однослойной наплавки) при сварке покрытыми электродами (12).

$$[\mathcal{E}_i]_{ш\text{ов}} = [\mathcal{E}_i]_{о.м.} \cdot \gamma_{о.м.} \cdot \eta_{\mathcal{E}_i}^{о.м.} + [\mathcal{E}_i]_{н.м.} \cdot \gamma_{н.м.}, \quad (12)$$

где $[\mathcal{E}_i]_{ш\text{ов}}$ – концентрации элемента \mathcal{E}_i в металле шва при однослойной наплавке по результатам химического анализа, мас.%; $[\mathcal{E}_i]_{о.м.}$ – концентрации элемента \mathcal{E}_i в основном металле по результатам химического анализа, мас.%; $[\mathcal{E}_i]_{н.м.}$ – концентрации элемента \mathcal{E}_i в наплавленном металле (5 слой) по результатам химического анализа, мас.%; металле и наплавленном металле соответственно; $\gamma_{о.м.}$ – доля участия основного металла в металле шва; $\gamma_{н.м.}$ – доля участия наплавленного металла в металле шва, при этом $\gamma_{о.м.} + \gamma_{н.м.} = 1$; $\eta_{\mathcal{E}_i}^{о.м.}$ – парциальный коэффициент перехода элемента \mathcal{E}_i из основного металла в металл шва.

Тогда получим (13):

$$\eta_{\mathcal{E}_i}^{\text{о.м.}} = \frac{[\mathcal{E}_i]_{\text{шов}} - [\mathcal{E}_i]_{\text{н.м.}} \cdot \gamma_{\text{н.м.}}}{[\mathcal{E}_i]_{\text{о.м.}} \cdot \gamma_{\text{о.м.}}} \quad (13)$$

Последний этап расчетов позволяет оценить усредненный коэффициент перехода элемента \mathcal{E}_i в металл шва и долю участия основного металла (14)

$$\eta_{\mathcal{E}_i}^{-\text{шов}} = \frac{[\mathcal{E}_i]_{\text{шов}}}{\frac{[\mathcal{E}_i]_{\text{н.м.}}}{\eta_{\mathcal{E}_i}^{\text{н.м.}}} \cdot \gamma_{\text{н.м.}} + [\mathcal{E}_i]_{\text{о.м.}} \cdot \gamma_{\text{о.м.}}}$$

Результаты расчетов приведены в табл. 2

Таблица 2

Результаты расчетов

Элемент \mathcal{E}_i	$\eta_{\mathcal{E}_i}^{\text{о.м.}}$	$\eta_{\mathcal{E}_i}^{-\text{шов}}$	$\gamma_{\text{о.м.}}$
C	1	$0,8 + 0,39(P/S)$	1,43(P/S)
Mn	1	$0,893 - 0,114P$	

Разработанный расчетно-экспериментальный метод дает возможность оценить усредненный и парциальные коэффициенты перехода в зависимости от параметров режима сварки. В связи с этим, полученные регрессионные уравнения позволяют рассчитать состав наплавленного металла при любых заданных параметрах режима.

Список литературы

1. Моделирование структуры, свойств и процессов межфазного взаимодействия в системе металл – оксидный расплав – газ / В.Н. Бороненков, М.И. Зиниград, Л.И. Леонтьев, Э.А. Пастухов, М.П. Шалимов, С.М. Шанчуров / Под ред. академика Л.И. Леонтьева. Екатеринбург: УрО РАН, 2010.
2. Прогнозирование химического состава металла, наплавленного электродами с рутиловым и ильменитовым покрытиями / И.К. Походня, Г.Е. Коляда, И.Р. Явдошин, О.Г. Касаткин, Л.И. Демченко // Автоматическая сварка. 1976. № 7. С.1-4.
3. Ерохин А.А. Кинетика металлургических процессов дуговой сварки. М.: Машиностроение, 1964. 256 с.
4. Черных А.В., Черных В.В. Расчет температуры электродных капель при дуговой сварке плавящимся электродом с помощью метода конечных элементов // Сварочное производство. 2008. № 3. С.6-7.
5. Мазуровский В.Л. Физико-химические основы разработки современных сварочных материалов: дис. ... канд. хим. наук. Екатеринбург, 2004, 135 с.
6. Шалимов М.П., Панов В.И. Сварка вчера, сегодня, завтра ... (Введение в специальность): учебное пособие. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. 227 с.
7. Вотинова Е.Б., Шалимов М.П. Разработка методики расчета состава металла шва при сварке покрытыми электродами или порошковой проволокой // Сварка и диагностика. 2011. № 5. С. 31-35.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЕСУРСНЫХ ПОЛЕЙ НА ПРОЦЕСС ПЕРЕНОСА РАСПЛАВА, ПОЗИЦИОНИРОВАННОГО В ПРОСТРАНСТВЕ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ, НА ПОКРЫВАЕМОЕ ИЗДЕЛИЕ

Бахматов Ю.Ф.¹, Лебедева И.Г.¹, Темиргалеев К.Р.²

¹ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» г. Магнитогорск, Россия

²ООО «Евростандарт» г. Магнитогорск

В МГТУ разрабатывается технологический процесс нанесения из расплава протекторных металлических покрытий на стальные конструкции на базе патента на ПМ [1]. В отличие от погружения изделия в ванну с расплавом (с вертикальным перемещением) разрабатываемая технология предполагает транспортировку изделия ниже зеркала ванны расплавленного металла (горизонтальное перемещение). Это условие в предлагаемой технологии обеспечивается созданием оперативного пространства заполненного рабочей средой, состоящей из расплава и погруженных в них ферромагнитных элементов [2]. Наличие в технологическом процессе сильного магнитного поля предполагает возможность его влияния на физические процессы в разрабатываемой технологии. Поэтому необходимо оценить его влияние на процесс удержания расплава в капиллярной среде, образованной ферромагнитными элементами и на механизм переноса расплава на изделие, и его растекания по поверхности последнего. В литературе есть данные по исследованию указанного взаимодействия в технологиях, связанных с формированием наноструктур [3].

В предлагаемой работе приведены предварительные результаты по оценке положительных и отрицательных факторов, влияющих на смачивание поверхности изделия (стальной ферромагнитной проволоки) расплавом и взаимодействию последнего с капиллярной ферромагнитной средой.

Т.к. на неё оказывает силовое воздействие магнитное поле, создаваемое внешним источником, то происходит «магнитная коагуляция», т.е. образуется конгломерат - цепочки частиц, вдоль которых происходит уменьшение градиента H .

На частицы действует сила, пропорциональная объему частицы V (т.е. массе), магнитной восприимчивости χ_m и напряженности магнитного поля H . Это соотношение имеет вид:

$$F = \chi_m V H dH/dx .$$

Так как на подъем жидкости в капилляре влияет его диаметр, который зависит от степени коагуляции, то определяющим этого эффекта будет напряженность поля и дисперсность частиц. Известно, что для электропроводящей среды сила магнитного взаимодействия пропорциональна H^2 . В нашем случае число Гартмана больше единицы ($Ha > 1$) и, следовательно, должно проявляться влияние магнитно поля на течение расплава в капилляре, не смотря на низкую скорость течения. Для этой оценки был проведен эксперимент, при котором оценивалось количество расплава (ПОС-170), который пропитал капиллярную структуру из железного порошка $d = 200$ мкм, создаваемую постоянными магнитами. Вязкость расплава определялась температурой 200 °С.

Результаты взвешивания “замороженного” расплава позволяют сделать вывод, что магнитное поле постоянного магнита ослабляет действие капиллярного эффекта (без оценки реальной степени “коагуляции”) на 5-10 %. Таким образом, необходимо учитывать данное ослабление при формировании оперативной зоны для конкретного сечения покрываемого изделия.

Вторым фактором, который, несомненно, может повлиять на процесс переноса, является смачивание расплавом покрываемой поверхности из ферромагнитного материала.

Исследования проводились на ферромагнитной пластине обработанной в растворе ZnCl и припоя (ПОС-170). Бралась навески припоя 1гр., и на пластине, нагретой до $T=200\text{ }^{\circ}\text{C}$ определялась площадь растекания. Варианты воздействия полем на расплав представлены на **рис. 1**.

Как и предполагалось [3] магнитное поле не оказывает влияния на смачивание.

Но в данной технологии расплав находится в капилляре, образованном ферромагнитным элементом и элементом поверхности покрываемого изделия (**рис. 2**).

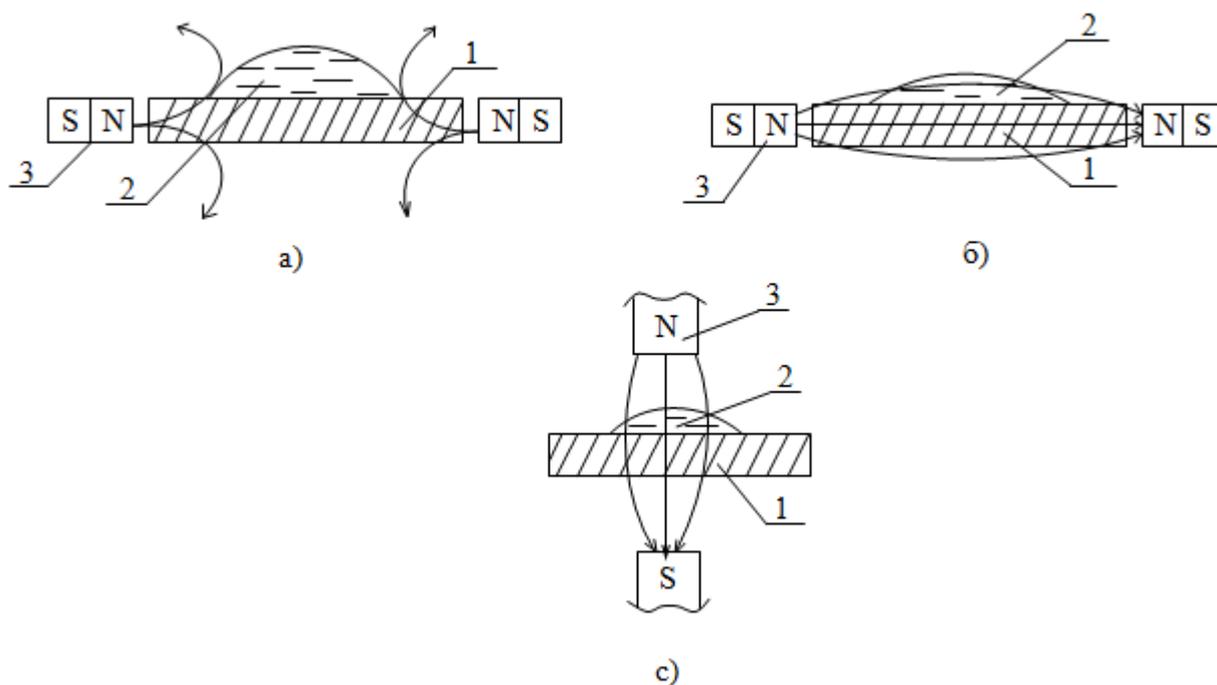


Рис. 1. Варианты воздействия полем на расплав:
1 – подложка, 2 – расплав, 3 – магнит

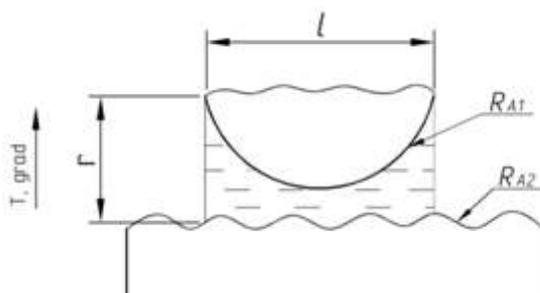


Рис. 2. Схема образования капиллярной структуры и ее параметры:

R_{A1} - микрогеометрия элемента; R_{A2} - микрогеометрия изделия;

l – длина капилляра; r – сечение капилляра

Поэтому результаты, полученные в первом эксперименте, необходимо учитывать при проектировании оборудования.

В реальной промышленной установке магнитное поле создается электрическим током. Как показали испытания, приемлемым вариантом является выпрямленный ток промышленной частоты с коэффициентом пульсаций 1,57 - 0,66. В [3] рассматривается вариант управления площадью растекания расплава путем пропускания через изделия электрического тока. При этом возникают пондеромоторные силы, которые взаимодействуют с силами поверхностного натяжения расплава. В этом случае возникает сложная задача, для решения которой необходимо учитывать такие факторы, как магнитные и электрические свойства покрываемого металла; распределение тока по сечению, зависящего от его спектра; микрогеометрию поверхности.

Использование электромагнитного поля показало другие результаты - проявилось влияние наведенного магнитного поля от высших гармоник тока электромагнита. Заметно увеличилась площадь растекания расплава. Наблюдалась связь краевого угла со спектром, различным при питании однополупериодным и двухполупериодным напряжением. Не наблюдалось влияние поля на проявление капиллярного эффекта, обнаруженного и приведенного выше.

Как и отмечалось выше – это задача достаточно сложная и требует дополнительных исследований. Поэтому мы ограничимся констатацией этого факта и необходимостью учитывать полученные результаты при проектировании разрабатываемой технологии.

Список литературы

1. Бахматов Ю.Ф., Бахматов И.Ю. Устройство для нанесения покрытия на изделия из вещества, находящегося в жидкой фазе. Патент на полезную модель № 114686.
2. Конструирование оборудования технологической линии нанесения металлических покрытий из расплава, позиционированного в пространстве магнитным полем / Ю.Ф. Бахматов, Н.В. Драпеко, К.Р. Темиргалеев, И.Г. Лебедева // Обработка сплошных и слоистых материалов. 2013. № 1 (39). С. 74-76.
3. Чернов В. В. Растекание и смачивание проводящими жидкими фазами поверхности твердых тел в магнитных полях: дис ... канд.ф.м.н. Нальчик. 2006.

УДК 621.771

ИССЛЕДОВАНИЕ СМАЗКИ ДЛЯ СУХОГО ВОЛОЧЕНИЯ МЕТАЛЛА С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА*

Гун Г.С., Корчунов А.Г., Пивоварова К.Г.

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова»

Для сухого волочения катанки, передельной проволоки из всех типов сталей, калибровки прутков широко используют сухие порошкообразные смазки, чаще всего на основе натриевого мыла, которые должны обеспечивать высокую износостойкость инструмента, требуемое качество поверхности продукции, уменьшение коэффициента трения, а при высоких скоростях волочения – эффективное охлаждение инструмента [1-3].

* Работа подготовлена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках выполнения государственного задания Магнитогорскому государственному техническому университету им. Г.И. Носова № 11.1525.2014К от 18.07.2014 г.

При волочении значительная часть энергии в результате внешнего трения и пластической деформации превращается в тепло, которое нагревает деформируемый металл, волоку и смазку. Теплота внешнего трения выделяется на контактной поверхности, поэтому при холодном волочении металла периферийные слои его в самом очаге деформации и в течение некоторого времени после выхода из волоки имеют температуру более высокую, чем центральные. Чрезмерный нагрев протягиваемого металла (300-350 °С) ухудшает условия волочения из-за выгорания смазки. При волочении стальной заготовки температура на контактной поверхности волоки может достигать 600 °С [4]. Хотя такие температуры сохраняются недолго, но это отрицательно сказывается на смазке.

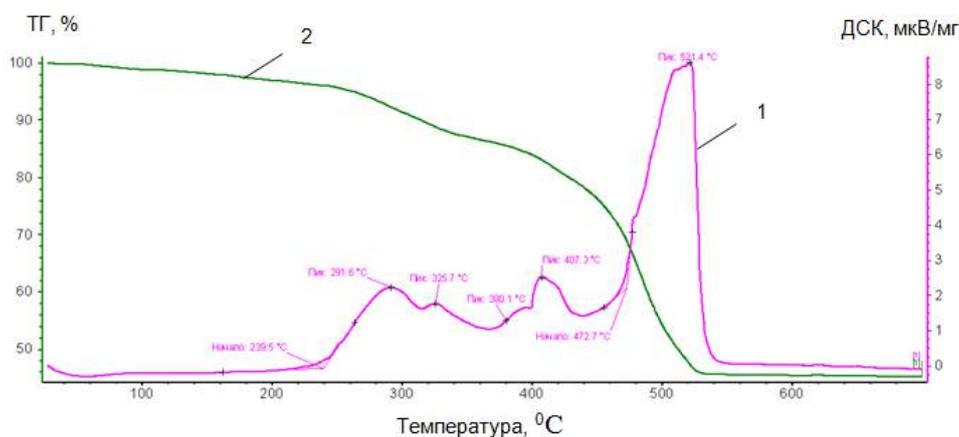
Анализируя вышесказанное, одним из важных показателей технологических смазок является термическая стабильность [5], способность смазки сохранять свои свойства при воздействии высоких температур. Другим не менее важным показателем смазки является ее гигроскопичность. Высокая влажность смазки, присутствие в мыле гигроскопических веществ (таких как хлорид натрия, гидроксид натрия, глицерин и др.) снижают температуру плавления (размягчения) мыла и вызывают коррозию металла [6]. Поэтому для технологических смазок нормируется такой показатель как влажность (содержание влаги), его величина не должна превышать более 1,0 %.

Целью настоящей работы является исследование технологических свойств (термической стабильности и гигроскопичности) смазки для сухого волочения металла методами физико-химического анализа.

В качестве объекта исследования выбрана смазка СВС-У (ТУ 113-07-11.075-91) на основе натриевого мыла, применяемая при волочении металла на станах барабанного типа.

Исследования по определению термической стабильности смазки проводились на приборе синхронного термического анализа STA (Jupiter 449 F3) фирмы «NETZSCH» при нагревании 3,0-3,5 мг вещества в корундовом (Al₂O₃) тигле в атмосфере воздуха (30 см³) при повышении температуры от комнатной до 700 °С со скоростью 10 °/мин.

На термограмме (см. **рисунок**) видно, что во время нагрева образца (высушенного при 110 °С до постоянной массы) уже при температуре около 150 °С на кривой ТГ наблюдается незначительный эффект потери массы, связанный с испарением низколетучих соединений смазки. Выше 300 °С эффект потери массы образца существенно усиливается и продолжается до температуры 550 °С. При этом на кривой ДСК наблюдается ряд экзотермических эффектов, соответствующих разложению и термодеструкции смазки, протекающих в несколько стадий. Окисление (термодеструкция) смазки начинается уже при температуре 239,5 °С.



Термограмма смазки СВС-У:

- 1 – кривая ДСК: изменение величины теплового потока от температуры;
- 2 – кривая ТГ: изменение массы от температуры

Следует отметить, что органические вещества считаются термически стабильными, если при температурах эксплуатации их потери массы не превышают более 5 % [7]. Поэтому для оценки термической стабильности исследуемой смазки определены температуры потери 5, 10, 25, 50 % массы и температуры максимумов основных экзотермических эффектов, зафиксированных на кривой ДСК (см. таблицу).

Результаты определения термической стабильности смазки СВС-У

Температура (°С), соответствующая потере массы, %				Температура экзотермического пика, °С
5	10	25	50	
263	315	456	519	291,6; 325,7; 380,1; 407,3; 521,4

Анализ данных, приведенных в таблице, показывает, что смазка СВС-У термически устойчива только до температуры 263 °С. При нагреве от 263 до 519 °С потеря массы составляет 50 % и в этом же диапазоне наблюдаются пики на кривой ДСК, что свидетельствует о разложении и термодеструкции смазки.

Содержание воды в смазке определялось на анализаторе углерода и воды CW MULTIPASSE фирмы ELTRA методом сжигания в токе очищенного и осушенного нейтрального газа (азота) при температуре 105-110 °С и определении количества выделившейся при этом влаги методом инфракрасной спектromетрии. Содержание влаги в исследуемой смазке составляет 1,0 %, что соответствует ее нормативу. Такое определение влаги в смазках по сравнению с традиционным гравиметрическим методом является более точным, т.к. при определении влаги гравиметрическим методом вместе с влагой могут выделяться другие летучие органические соединения, что может привести к увеличению общей потери массы и, как следствие, к завышению результатов анализа.

По результатам физико-химических методов анализа (ИК-спектromетрии и термического) можно сделать вывод, что содержание влаги в смазке СВС-У соответствует нормативу (1,0 %); смазка будет термически стабильной до температуры 263 °С, выше этой температуры ее технологические свойства будут ухудшаться, что приведет к возникновению неблагоприятных условий процесса деформации при волочении металла.

Список литературы

1. Корчунов А.Г., Пивоварова К.Г., Ульянов А.Г. Технологические аспекты производства высокоточной калиброванной стали // *Обработка сплошных и слоистых материалов*. 2012. № 38. С. 85-89.
2. Пивоварова К.Г. Повышение качества калиброванной стали на основе моделирования и оценки изменения шероховатости поверхности при волочении: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23 / Пивоварова Ксения Григорьевна. Магнитогорск, 2006. 19 с.
3. Гун Г.С., Корчунов А.Г., Пивоварова К.Г., Ульянов А.Г. Моделирование упругого последствия металла при волочении // *Обработка сплошных и слоистых материалов*. 2014. № 1 (40). С. 67-71.
4. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения. М.: Металлургия, 1971. 447 с.
5. Чернов В.П., Ларин Ю.И., Долматов А.П. и др. Исследования новых эмульсолов для высокоскоростной прокатки углеродистой стали // *Труды VI конгресса прокатчиков*. Т. 1 (Липецк, 18-21 октября 2005 г.). М.: АО Черметинформация, 2005. С. 158-160.
6. Павлова С.А., Журавлева И.В., Толчинский Ю.И. Термический анализ органических и высокомолекулярных соединений. М.: Химия, 1983. 120 с.
7. Чертавских А.К., Белосевич В.К. Трение и технологическая смазка при обработке металлов давлением. М.: Металлургия, 1968. 364 с.

ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ ЧЕРНОЙ ЖЕСТИ С ПОВЫШЕННЫМИ ПЛАСТИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Файзулина Р.В., Молева О.Н., Виноградов В.П.

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет

им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П. Бардина", г. Москва, Россия

Поставка жести по ТС 14-101-696-2008 регламентирует такие характеристики как: механические свойства, твердость (HR30Ta), глубина лунки по Эриксену.

В **табл. 1** приведены требуемые значения характеристик.

Таблица 1

Технические требования к жести по ТС 14-101-696-2008

Толщина жести, мм	Твердость жести (HR30Ta)	Глубина лунки по Эриксену, мм	Предел текучести, σ_T , Н/мм ²	Временное сопротивление разрыву, σ_B , Н/мм ²
0,18 – 0,19	54±3	6,5	180 - 300	280 - 400
0,20 – 0,21		6,7		
0,22		7,0		

Из анализа механических свойств жести колпакового отжига по ТС 14-101-696-2008 выявлено некоторое ухудшение пластичности металла по совокупности таких характеристик, как твердость и глубина сферической лунки по Эриксену (54,2 и 7,45 соответственно). Обе характеристики определяются микроструктурой металла: твердость – это характеристика размера зерна феррита, глубина сферической лунки по Эриксену – количественная характеристика совокупности размеров всех рекристаллизованных зерен. При производстве жести повышенной пластичности предусмотрен отжиг в колпаковой печи с выдержкой при температуре рекристаллизации 550 °С - 8 часов, с выдержкой при температуре 630 °С - 6 часов, с выдержкой при температуре 610 °С - 8 часов [1, 2, 3]. Сложность колпакового отжига в ЛПЦ-3 в том, что в трехступенных печах отсутствует контроль режимов нагрева садки, так как из трех стоп только одна является термопарной (температура контролируется на одном рулоне). Рулоны, отоженные в одной садке, могут отличаться по механическим свойствам из-за различных условий прогрева металла по стопам и горизонтали [4]. С целью улучшения потребительских свойств черной жести, производимой в соответствии требованиям ТС 14-101-696-2008, и определения возможности сокращения времени выдержки, отожили несколько опытных партий по различным режимам: с выдержкой при температуре рекристаллизации от 5 до 8 часов, с выдержкой при температуре 630 °С от 5 до 8 часов, с выдержкой при температуре 610 °С от 5 до 8 часов. Химический состав стали и сортамент жести соответствовали нормативной документации. Общее время нагрева определяли как суммарное время нагрева до температуры заданий, время выдержки при температуре заданий и время нахождения садок под потушенным колпаком. Последующую дрессировку жести производили согласно действующей технологии. В **табл. 2** представлены результаты механических испытаний, твердости, глубины сферической лунки по Эриксену, микроструктуры черной жести после дрессировки (усредненные по вариантам опытных партий).

Таблица 2

**Результаты механических испытаний черной дрессированной жести
(опытные партии)**

№ варианта	Предел текучести, σ_T , Н/мм ²	Временное сопротивление разрыву, σ_B , Н/мм ²	Относительное удлинение, δ_4 , %	Твердость, HR30Ta	Глубина сферической лунки, IE, мм	Микроструктура
ТС	303,8	385,3	16,7	57	7,0	Балл цемента: 0б-1б Балл зерна: 7-9(10)
1	278,8	335,2	27,9	53,6	7,0	Балл цемента: 0б-1б Балл зерна: 7-8
2	276,1	337,8	19,4	53,7	7,1	Балл цемента: 0б Балл зерна: 7-9
3	258,3	319,0	26,9	54,3	7,0	Балл цемента: 1б Балл зерна: 7-8
4	258,5	346,0	30,1	53,0	7,4	Балл цемента: 0б Балл зерна: 7-8

На **рис. 1** приведена микроструктура жести размерами 0,18x834 мм, отоженная по режиму трехступенчатого отжига с сокращением времени выдержки на 3 часа.

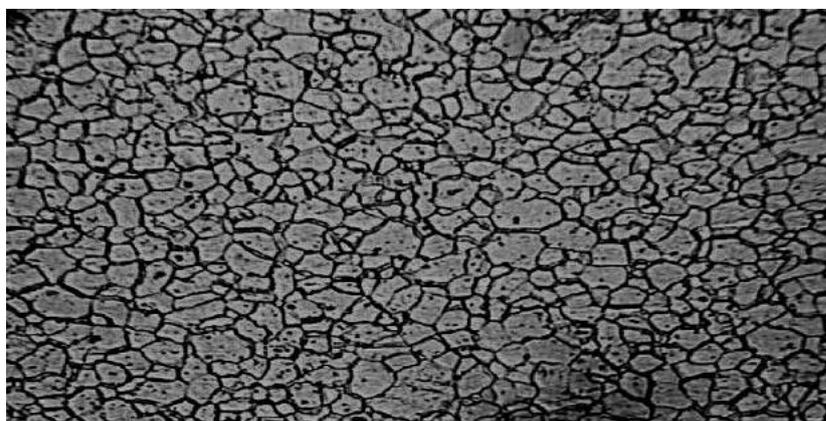


Рис. 1. Микроструктура жести, отоженная по режиму трехступенчатого отжига, x500 (массовая доля углерода в стали 0,3 %)

Из результатов испытаний опытных партий следует:

- при сокращении времени выдержки при температуре рекристаллизации и на последующих ступенях при температурах 630 и 610 °С на всех вариантах опытных отжигов жести в колпаковых печах получили значения механических свойств, твердости и глубины сферической лунки, соответствующие техническим требованиям ТС 14-101-696-2008;

- микроструктура жести, отоженной по опытным режимам, отличается меньшей разнобальностью и более мелким цементитом.

Следующие серии опытов производили с жостью текущего сортамента. В серии опытных отжигов опробовали повышение температуры до 650 °С и сокращение времени выдержки на всех ступенях нагрева до 4-5 часов. В табл. 3 сведены усредненные по партиям и толщинам результаты механических испытаний, глубины сферической лунки, твердости черной жести после дрессировки.

Таблица 3

Результаты механических испытаний черной дрессированной жести текущего сортамента

№ варианта	Толщина, мм	Предел текучести, σ_T , Н/мм ²	Временное сопротивление разрыву, σ_B , Н/мм ²	Относительное удлинение, δ_4 , %	Глубина сферической лунки, IE, мм	Твердость, HR30Ta
5	0,18	281	358	25,7	7,3	53
6	0,20	290,3	344,3	27,6	7,3	53,3
7	0,22	291,0	344,6	28,9	7,4	54,2
8	0,22	272	322	25,7	7,5	54
9	0,22	280,3	320,8	24,7	7,3	52,8
10	0,36	269,3	328,3	25,0	7,2	55,8

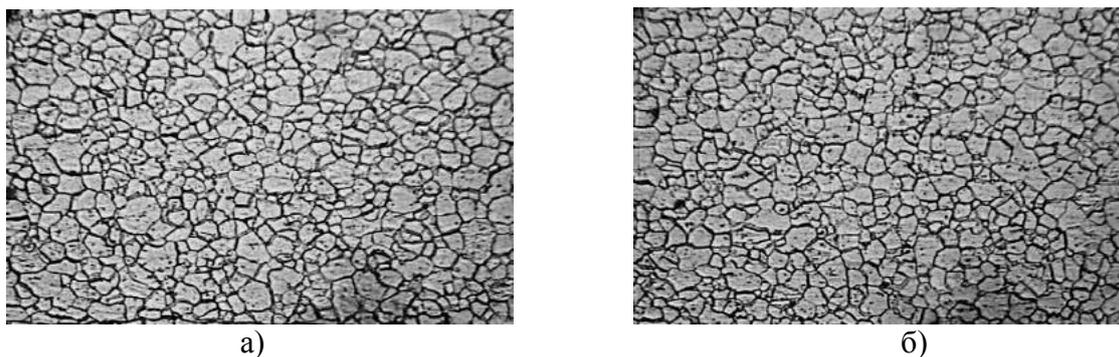
Для определения равномерности свойств по длине и ширине полосы выбрали подкат одной вакуумированной плавки, симметрично распущенный в агрегате продольного роспуска. Жесть отжигали по схемам: № 8 - 550 - 630 – 610 °С и № 9 - 550 - 650 - 630°С. Испытания механических свойств, твердости и глубины лунки производили, отбирая пробы с каждой полосы (левая и правая по роспуску) и с передних и задних концов. По совокупности величин твердости и пластичности обе партии имеют примерно одинаковые свойства, но режим нагрева металла до температуры 650 °С позволил сократить время выдержки на 4 часа (табл. 4).

Таблица 4

Распределение механических свойств, твердости, глубины сферической лунки по длине и ширине полосы

Место отбора пробы		Предел текучести, σ_T , Н/мм ²	Временное сопротивление разрыву, σ_B , Н/мм ²	Относительное удлинение δ_4 , %	Твердость, HR30Ta	Глубина лунки по Эриксену, IE, мм		
левая полоса	передний конец полосы	243	318	34,8	52	7,8	7,6	7,4
правая полоса		245	319	30,9	54	7,7	7,6	7,5
левая полоса	задний конец полосы	265	306	31,5	53	7,6	7,5	7,4
правая полоса		258	304	28,9	54	7,3	7,2	7,5
левая полоса	передний конец полосы	247	310	31,0	54	7,0	7,3	7,2
правая полоса		255	320	30,9	55	7,1	7,2	7,3
левая полоса	задний конец полосы	267	315	20,8	54	7,0	7,4	7,3
правая полоса		263	330	20,1	55	7,2	7,1	7,4

На **рис. 2 (а, б)** микроструктура жести, отожженная с использованием трехступенчатого отжига (630 и 650 °С).



**Рис. 2. Микроструктура жести, отожженная по режиму трехступенчатого отжига:
а) - 630°С и б) - 650°С, х500**

Таким образом, для получения жести, удовлетворяющей требованиям ТС 14-101-696-2008, целесообразно применять трехступенчатый сокращенный режим нагрева в колпаковых печах, который можно рекомендовать для жести всего сортамента.

Список литературы

1. Производство особо тонких номеров жести однократной прокатки в условиях ОАО «ММК» / Р.В. Файзулина, О.Н. Молева, Ю.А. Мельников, А.Ф. Вакильев // Обработка сплошных и слоистых материалов. 2011. Вып.37. С. 125-130.
2. Качество жести для цельнотянутых двухэлементных банок / Р.В. Файзулина, О.Н. Молева, М.А. Никифоров // Качество в обработке материалов. 2014. №1. С.48-51.
3. К вопросу о дефектах поверхности жести / Р.В. Файзулина, О.Н. Молева, Ю.А. Кашникова, Е.В. Радюкевич // Обработка сплошных и слоистых материалов. 2013. № 1 (39). С. 102-105.
4. Антонов С.П., Бояршинов М.И., Куприн М.И. и др. Холодная прокатка жести. М.: Металлургия. 1965. 266 с.

УДК 621.778

АНАЛИЗ СПОСОБОВ НЕПРЕРЫВНОГО НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЯ ПРОВОЛОКИ*

Харитонов В.А., Усанов М.Ю.

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

Проволока и изделия из проволоки применяются практически во всех отраслях промышленности, строительстве и т.д. В объемах производства метизных предприятий она занимает основную долю и по разным источникам достигает 80%. Причем, в основном объеме проволока производится из углеродистых марок сталей.

*Работа подготовлена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках выполнения государственного задания Магнитогорскому государственному техническому университету им. Г.И. Носова № 11.1525.2014К от 18.07.2014 г.

Свойства проволоки во многом зависят от уровня требований к готовой продукции, определяемых действующей нормативно-технической документацией и параметров заготовки-катанки, поступающей в технологический процесс. Проволока обычно производится из катанки на непрерывном оборудовании многократного волочения с конечными скоростями несколько десятков метров в секунду. Важными механическими свойствами высокоуглеродистой стальной проволоки являются условный предел текучести, предел прочности при растяжении, релаксационная стойкость и пластичность. В итоге свойства формируются основными операциями технологического процесса изготовления проволоки, к которым относятся способы ОМД и термическая обработка. Последняя обеспечивает получение необходимых структуры и свойств заготовки и готовой проволоки, а также восстановление деформируемости передельной заготовки. Однако операции термообработки в теории технологического наследования принято считать «технологическими барьерами». Такой барьер ликвидирует полностью или частично наследственные связи, действовавшие в технологическом процессе до появления указанного барьера, и процесс изготовления начинается как бы заново [1]. Кроме того, термическая обработка увеличивает время цикла и повышает затраты на изготовление проволоки. Поэтому технологические процессы изготовления проволоки должны проектироваться с минимально необходимым количеством промежуточных термообработок, а задачи свойствообразования, наряду с обязательным формоизменением, должны решать применяемые способы ОМД, определяющие также и уровень технологического процесса [2].

Для того чтобы получить высокое качество проволоки нужно получить равновесное, мелкодисперсное, фрагментированное зерно. Прежде всего на формирование мелкодисперсного зерна влияет характер деформации, т.е. нужно обеспечить немонотонный характер течения. Основной управляемый фактор процессов обработки металлов давлением - это характер деформации и управление характером течения.

В настоящее время волочение в монолитных волокнах является основным способом производства проволоки. Как известно, волочению соответствуют трехосные равнонаправленные схемы напряженного и деформированного состояний. При волочении заготовка вытягивается в одном направлении — вдоль продольной оси, и в этом случае поворот главной оси тензора деформации относительно этого направления незначителен, что позволяет отнести этот процесс к квазимонотонному.

В практике производства широко применяется способ получения проволоки волочением в монолитных волокнах с наноструктурой – это патентирование, за счет которого в средне- и высокоуглеродистой проволоке формируется структура сорбит. Патентирование изобретено Джеймсом Хорсфоллом в Англии в 1854 году и происходит за счет превращения аустенита в тонкопластинчатый перлит (межпластинчатое расстояние около 10 мкм). Структуру сорбит так же получают с прокатного нагрева. Embury и Fisher исследовали структуру и свойства протянутого (волоченого) перлита и опубликовали результаты в 1966 г. После обширных экспериментальных исследований, взяв за основу, что расстояние между пластинками цементита непрерывно уменьшается при увеличении суммарной степени деформации или межпластинчатое расстояние уменьшается пропорционально диаметру проволоки d , считая деформацию, несомненно, однородной, Embury и Fisher получили зависимость [3]:

$$\frac{S}{S_0} = \frac{d}{d_0} \quad (1)$$

где S_0 — межпластинчатое расстояние при начальном диаметре проволоки d_0 . Это соотношение дает экспоненциальную зависимость между S и интегральной деформацией удлинения e :

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{S_0} \exp(e/2) \quad (2)$$

Однако для получения наноструктуры в проволоке волочением из других материалов, например, низкоуглеродистых, необходимо обеспечить высокую накопленную степень де-

формации $e = 17-18$, для этого необходимо вытянуть образец в 10 млн раз [4], что неизбежно приведет к разрушению металла.

Одним из путей повышения качества металлопродукции является создание и использование эффективных технологических процессов, базирующихся на современных достижениях науки. В последнее время все более очевидным становится тот факт, что традиционные формы термомеханической обработки разработаны настолько полно, что невозможно ожидать значительного изменения соотношения прочность – пластичность получаемых материалов. Использование новых методов пластической деформации является одним из наиболее перспективных направлений в создании мелкокристаллических материалов с комплексом высоких прочностных и пластических характеристик. При различных схемах комбинированной обработки реализуются процессы, позволяющие повысить эксплуатационные свойства материалов путем целенаправленного изменения их структуры и тонкого строения [5].

Исследования показали, что использование простого сдвига в различных схемах комбинированной деформации (кручение с растяжением, винтовое прессование (ВП)) позволяет реализовать особое состояние интенсифицированного движения дефектов, приводящее к особенностям протекания рекристаллизации в процессе деформации. Это дает возможность сформировать равноосное мелкое зерно с малым количеством дефектов в его теле. Однако в настоящее время неясно, в какой мере полученные знания о процессах структурообразования при кручении с растяжением, ВП, РКУП, КНБ могут быть полезны при усовершенствовании схем массового производства (например, прокатки или волочения) металлов и сплавов [5].

РКУП, кручение в наковальнях Бриджмена и ВП позволяют получить образцы относительно малых размеров, что ограничивает применение таких металлов на практике. Наиболее перспективными следует признать те схемы деформации, которые характеризуются непрерывностью процесса и могут быть вписаны в линии по производству изделий большого тоннажа. Проведенные исследования открывают путь для практических разработок по использованию схем комбинированной пластической деформации со сдвигом для создания конструкционных материалов с необычными свойствами [5].

Авторы работ [6, 7] одними из первых кто предложил использовать при производстве проволоки равноканальное угловое прессование в качестве предварительной технологической операции перед волочением проволоки или холодной высадкой метизов. Использование РКУП как метода деформационного упрочнения благодаря диспергированию структурных элементов позволяет в низкоуглеродистой стали 20 обеспечить прочностные характеристики (в первую очередь предел текучести), приближающиеся прочностным характеристикам среднеуглеродистой стали 45 при сохранении хороших характеристик пластичности. Однако, данный способ имеет дискретный характер и для производства проволоки необходимо найти непрерывный способ.

Одним из таких способов стала РКУПротяжка [8, 9], заключающаяся в многократном протягивании проволоки через специально разработанный инструмент, имеющий 2 пересекающихся под углом канала.

Непрерывность обработки реализуется за счет последовательной установки на волочильном стане необходимого количества инструмента (рис. 1).

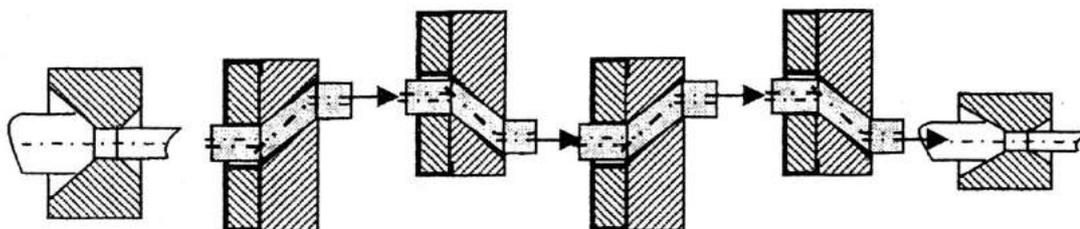


Рис. 1. Возможность поточной реализации РКУПротяжки на шестикратном волочильном стане

Обработка заготовки способом РКУПротяжки обеспечивает существенную немонотонность и одновременно высокое значение накопленной степени деформации сдвига в металле,

что приводит к эволюции дислокационной структуры, активизации новых систем скольжения, разориентации микрообъемов в пределах одного зерна и перестройке сформированных фрагментов в ультрамелкие зерна с неравновесными высокоугловыми границами [10].

Способ аналогичный РКУПротяжке был разработан Muszka К. и др. в работе [11] и получил название - многократное угловое накопительное волочение (AAD) (рис. 2). В отличие от РКУПротяжки, способ AAD характеризуется сложным режимом изменения вида деформаций — обжатием диаметра, растяжением и кручением, — который влияет на изменение микроструктуры конечного продукта, что при соответствующем контроле приводит к улучшению свойств, что особенно важно для сплавов, не характеризующихся сложным составом.

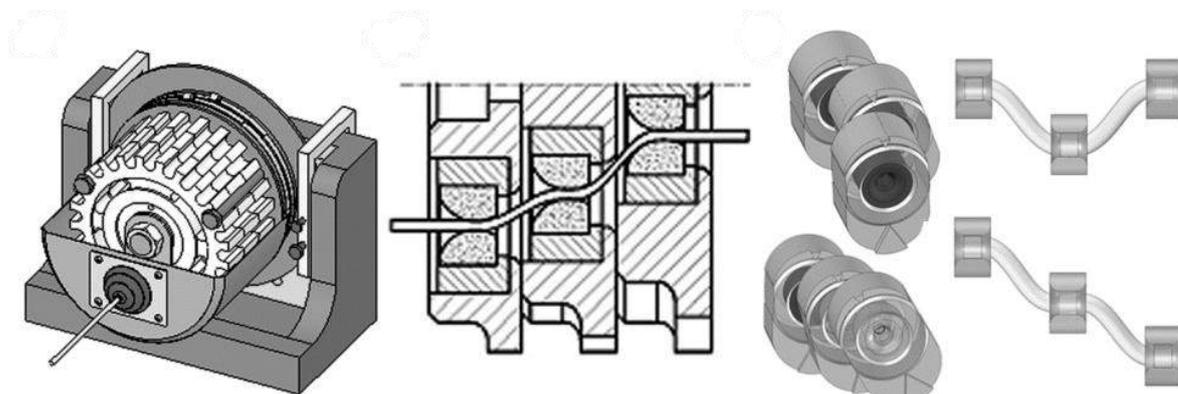


Рис. 2. Многократное угловое накопительное волочение (Accumulative Angular Drawing process – AAD)

В способе РКУПротяжки и AAD деформации растяжения, сжатия, изгиба и кручения осуществляются не в одном очаге деформации. Так деформация сжатия происходит в волоке, растяжения и кручения в промежутке между волоками.

Комбинирование деформаций растяжения, сжатия, изгиба и кручения было использовано в непрерывном методе формирования УМЗ-структуры в углеродистой проволоке при волочении с кручением и изгибом [12-14] (рис. 3).

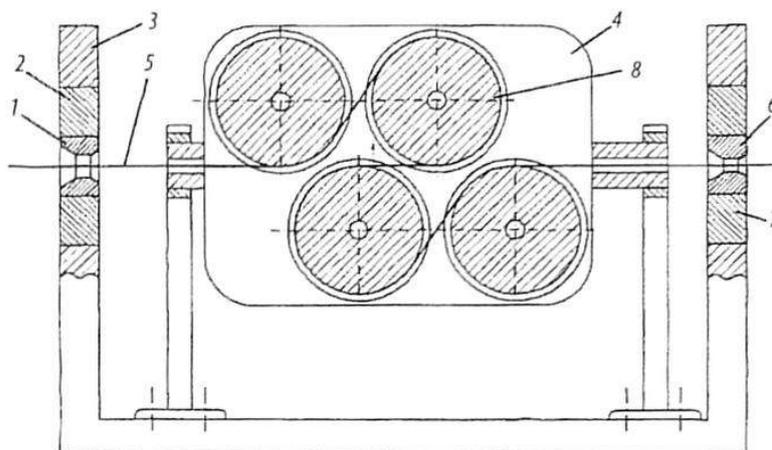


Рис. 3. Принципиальная схема реализации комбинированного метода формирования УМЗ - структуры в углеродистой проволоке волочением с кручением и изгибом

Такая схема приложения нагрузки способствует развороту зерен при их одновременной вытяжке. В результате происходит дополнительный сдвиг зерен близкой ориентации вдоль их границ при одновременном их измельчении.

Однако данные способы имеют довольно сложное оборудование, которое сложно встроить в действующее волочильное оборудование

Известен процесс прокатки с наложением деформации продольного сдвига (называемый способом «прокатка-волочение (ПВ)»). Основной областью применения способа ПВ является холодная прокатка твердых или значительно наклепывающихся материалов при малых толщинах полос и относительно большом диаметре валков. По сравнению с обычным способом прокатки при ПВ действуют значительно меньшие усилия прокатки и достигаются большие обжатия [15].

Сущность процесса заключается в деформации полосы между вращающимися с различной скоростью валками ($v_{в1}$ - окружная скорость ведущего валка, $v_{в2}$ - окружная скорость ведомого валка), причем соотношение скоростей валков равно вытяжке $\lambda = v_{в1} / v_{в2}$ (рис. 4). К концам полосы прикладывается натяжение для создания на дугах охвата трения покоя. При этом скорость заднего конца полосы автоматически поддерживается равной окружной скорости ведомого валка, а скорость переднего конца - равной окружной скорости ведущего валка.

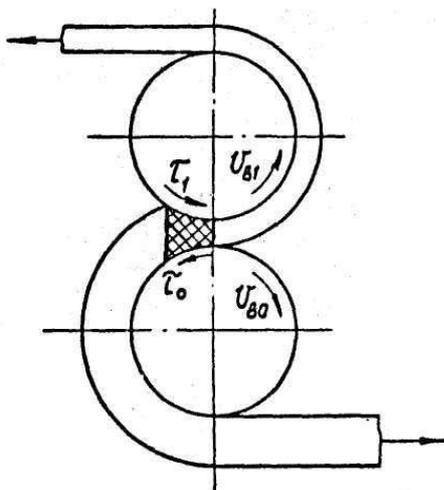


Рис. 4. Схема процесса прокатки с наложением деформации продольного сдвига (прокатка-волочение)

При указанных условиях имеют место однозонные поверхности контактного трения: на ведущем валке - зона отставания, на ведомом - зона опережения. Это приводит к созданию противонаправленных сил контактного трения τ_1 , τ_0 , которые вызывают в пластической области дополнительные сдвиговые деформации.

В данном процессе соотношение скоростей вращения валков пропорциональна вытяжке. Вытяжка величина, варьируемая и ее сложно удерживать, особенно при волочении.

Авторами работы [16] был разработан и предложен новый совмещенный способ прокатки и прессования в равноканальной ступенчатой матрице (рис. 5), который по сравнению с обычным прессованием в равноканальной ступенчатой матрице обеспечивает непрерывность процесса и снимает ограничения на размеры исходных заготовок.

Суть предлагаемого способа деформирования заключается в следующем. Предварительно нагретая до температуры начала деформирования заготовка подается к прокатным валкам, которые за счет сил контактного трения захватывают ее в свой зев, а на выходе из него проталкивают через каналы равноканальной ступенчатой матрицы. После того, как заготовка полностью выйдет из зева валков, к ним подается следующая заготовка, которая, пройдя через валки и попав в матрицу, выталкивает из нее ранее продеформированную заго-

товку. В данном случае процесс прессования заготовок в равноканальной ступенчатой матрице реализуется за счет использования контактных сил трения, возникающих на поверхности контакта металла с вращающимися валками.

Создание значительных сдвиговых деформаций в процессе формоизменения в калибрах при реализуется в схеме горячей прокатки со сдвигом [17]. При этом пластическую деформацию металла осуществляют не менее двух раз при температуре ниже температуры нижней критической точки фазовых превращений, с частичным обжатием не менее 0.10 в парах калибров, где первый в паре является пластовым, а второй – ребровым простой формы. Следующее охлаждение проводят в любой из охлаждающих сред со скоростью не менее 1.5 °C/min до температуры конца структурных преобразований. Особенностью схемы является то, что прокатку в ребровых калибрах осуществляют при смещении их ручьев относительно друг друга вдоль оси валков (рис. 6) на расстоянии 0.05–0.20 ширины ручья [17].

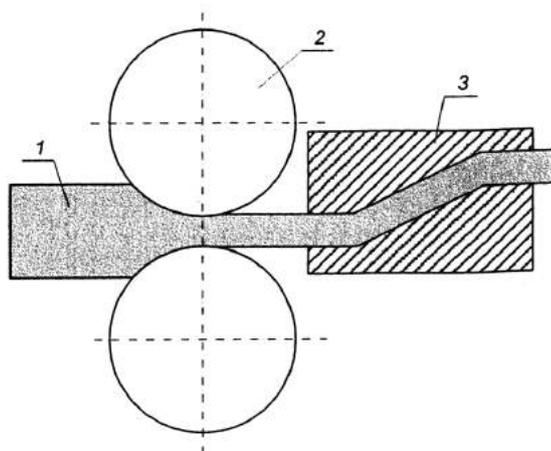


Рис. 5. Совмещенный способ прокатки и прессования

В способах прокатки-прессования и прокатки со сдвигом заготовка находится в нагретом состоянии, что усложняет технологию и требует постоянного контроля температуры. Что не совсем подходит для массово выпускаемой продукции.

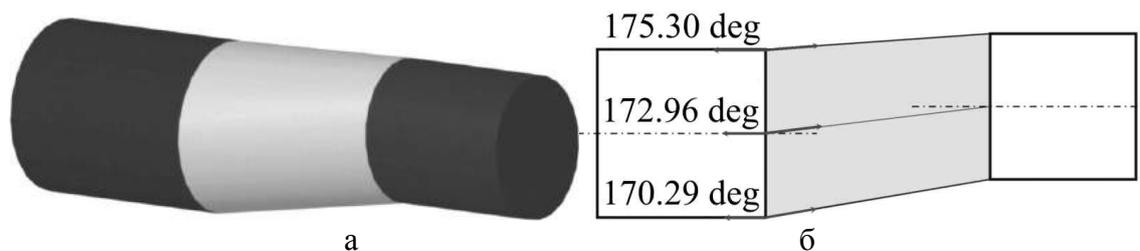


Рис. 6. Очаг деформации в сдвиговом калибре при прокатке со сдвигом: а – изометрия (общий вид), б – схема очага

Комбинация кручения с известными способами пластической деформации, такими как прокатка и волочение, приводит к смене плосконапряженного состояния на разноименное объемно-напряженное. Случаи неравномерного всестороннего сжатия (растяжения), при которых главные напряжения неодинаковы по величине, а поэтому касательные напряжения не равны нулю, имеют большое теоретическое и практическое значение. Такие напряженные состояния способствуют проявлению максимальной пластичности [5].

Таким образом, проанализировав способы измельчения структуры, можно предположить, что наиболее эффективными способами при производстве проволоки являются способы, основанные на кручении.

При кручении работа внешних сил, необходимая для деформации до разрушения различных материалов, и отнесенная к единице массы деформируемого материала, в 3÷5 раз выше, чем при растяжении. Возможность диссипировать больше энергии при кручении, чем при растяжении, объясняется двумя факторами [5].

Первый состоит в том, что при кручении реализуется схема деформации по типу простого сдвига, для которой характерно изменение угла между постоянным направлением действия максимальных касательных напряжений и направлением наибольшего удлинения. В случае растяжения этот угол остается постоянным, что не способствует активации новых систем скольжения.

Второй фактор заключается в том, что диссипация энергии деформации при кручении идет по пути генерации, перераспределения, накопления и аннигиляции дефектов кристаллического строения материала.

Поэтому для получения накопленной степени деформации $e = 17...18$ процессом РКУП требуется 16 проходов, а кручением под давлением достаточно 0,5...1 оборота [4].

На основе принципа комбинирования различных видов деформаций (обжатия диаметра, растяжения и кручения), при волочении был получен новый метод интенсивной пластической деформации – волочение со сдвигом [18, 19]. Причем, деформация осуществляется в одном очаге деформации.

Устройство состоит из волоки, установленной с возможностью вращения вокруг оси волочения. Деформация, сопровождающаяся изменением физико-механических свойств металла и формированием ультрамелкозернистой структуры, обеспечивается за счет того, что устройство снабжено второй неподвижной волокой, а внутренние каналы первой и второй волок выполнены в виде смещенных конусов, причем выходное сечение второй волоки эксцентрично относительно входного сечения первой волоки.

Данный способ имеет инструмент с достаточно сложной геометрией и находится на стадии лабораторного исследования.

Таким образом, комбинированная пластическая деформация относится к объемной равноименной деформации (кручение с растяжением, РКУП, ВП, прокатка со сдвигом, волочение с кручением). Смена схемы напряженного состояния (при наложении кручения) должна благотворно воздействовать на процессы структурообразования, позволяя получить более дисперсные и однородные структуры [5].

Одним из способов, позволяющих осуществлять одновременно линейную деформацию вытяжки и деформацию скручивания в одном очаге деформации является радиально-сдвиговая прокатка (РСП) (рис. 7). РСП определяется как частный случай стационарной винтовой прокатки в области больших углов подачи β (16...18 град, и более), в валках со специальной калибровкой для деформации сплошных заготовок постоянного сечения.

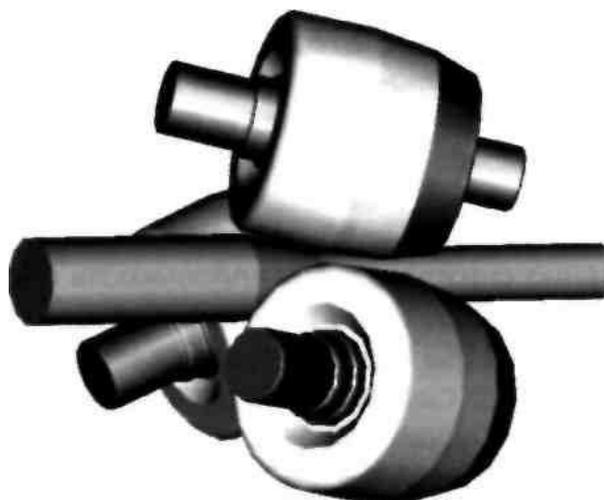


Рис. 7. Схема универсальной РСП

В отличие от традиционных трубных станов винтовой прокатки в станах РСП создаются условия не для разрыхления центральной зоны, а наоборот, для уплотнения и интенсивной деформационной проработки металла во всем объеме проката [20].

В основе способа РСП лежит траекторное управление движением деформируемого металла. В очаге деформации создается геликоидальное истечение металла с торможением внешнего слоя заготовки и разгоном внутреннего. Разнонаправленные потоки вызывают интенсивные сдвиговые перемещения в объеме проката. Многократно интенсифицируется измельчение структурного строения. Металл приобретает характерное мелкодисперсное строение, практически не доступное для других стационарных способов ОМД (**рис. 8**) По своему морфологическому строению, структуре и свойствам металл после РСП становится материалом нового качества. Происходит комплексное повышение и стабилизация физико-механических и служебных свойств металла на уровне, превосходящем традиционный [21].

Однако, радиально-сдвиговой прокаткой обрабатывают заготовки в горячем состоянии и ее практически невозможно применить для производства проволоки. Эту задачу может решить планетарная прокатка, но данные станы сложны по конструкции и практически не применяются.

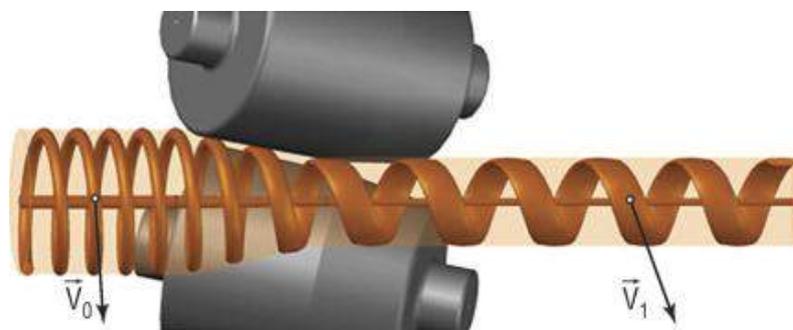


Рис. 8. Схема течения внешнего слоя заготовки:

$V_{0(1)}$ — скорости движения металла до и после очага деформации

При температуре ниже температуры рекристаллизации радиально-сдвиговой прокаткой получают однородную субмикроструктурную глобулярную структуру в нелегированном титане в заготовках в виде прутков круглого сечения. Такие прутки используются при производстве медицинских имплантатов [22].

На кафедре машиностроительных и металлургических технологий Магнитогорского государственного технического университета им Г.И. Носова с 2001 г., под руководством профессора Харитонов В.А., проводятся исследования по применению радиально-сдвиговой деформации для производства проволоки. Используя волочение в качестве основного способа обработки проволоки и заменив монолитную волоку на роликковую, был разработан способ, получивший название – радиально-сдвиговая протяжка (РСПр).

Радиально-сдвиговая протяжка - способ получения проволоки радиально-сдвиговой деформацией, который осуществляется приложением к проволоке (катанке) переднего тянущего усилия без ее скручивания. Радиально-сдвиговая протяжка представляет собой роликковую волоку с 3-мя неприводными роликами, расположенными под углом 120° друг к другу, с углами подачи $\beta > 16^\circ$ (**рис. 9**). Каждый ролик имеет рабочий конус и калибрующий пояс. Роликковая волока радиально-сдвиговой протяжки размещается взамен мильницы перед тянущим барабаном волочильной машины.

В работе [23] было проведено экспериментальное исследование кинематики установки радиально-сдвиговой протяжки. Показано, что при прочих равных условиях усилие волочения примерно, на 30 % ниже, чем при волочении через монолитную волоку. Лабораторное экспериментальное исследование, проведенное на проволоке из стали марки У12А, показало, что применение радиально-сдвиговой протяжки позволяет увеличить глубину проникнове-

ния деформации сжатия по сечению проволоки, повысить деформируемость проволоки и сократить цикличность технологического процесса изготовления проволоки.

Далее, в программном комплексе Deform 3D было проведено моделирование РСПр [24, 25] и показано формирование спиралевидной структуры по сечению проволоки [26].

В процессе моделирования было установлено, что угол подъема винтовой линии γ зависит от вытяжки и обжатия. С увеличением вытяжки и обжатия угол скручивания уменьшается, т.е. подобно виткам пружины плотность навивки становится больше (**рис. 10**).

Особенно стоит отметить, что углом скручивания γ можно контролировать. И, соответственно, управлять межпластинчатым расстоянием [27, 28]:

$$\gamma = 90 \left(\frac{S \cdot d_0}{S_0 \cdot d} \right)^2 \quad (3)$$

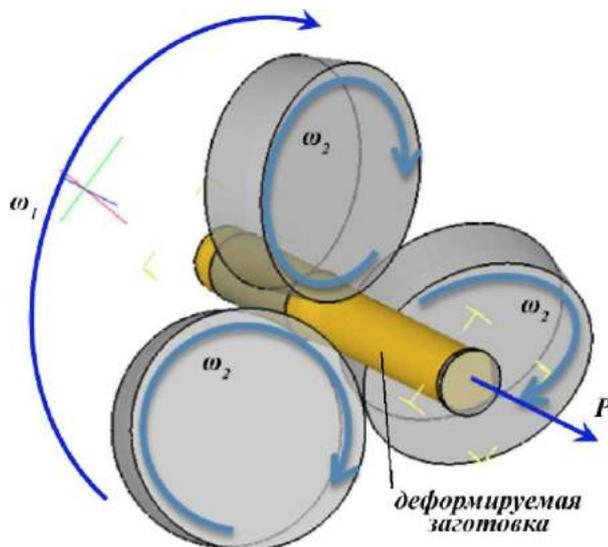


Рис. 9. Принципиальная схема РСПр:

ω_1 - скорость вращения кассеты;

ω_2 - скорость вращения роликов; P - усилие протяжки

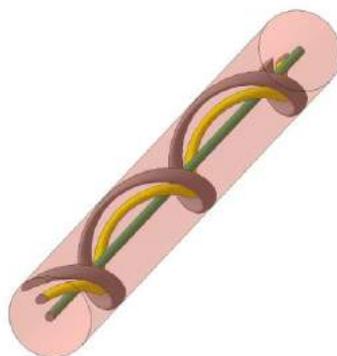


Рис. 10. Характер течения по слоям при РСПр

Это позволит при изготовлении проволоки из средне- и высокоуглеродистой стали повысить ее прочность благодаря дополнительному измельчению микроструктуры металла, либо уменьшить величину суммарной деформации в результате уменьшения диаметра исходной заготовки, что приведет к снижению затрат при ее изготовлении [27]. Так же комбинирование с монолитной волокой позволяет управлять углом скручивания.

Методика расчета режимов деформации и анализ напряженного состояния проволоки при волочении и радиально-сдвиговой протяжке проведены в [29, 30].

На способ получения проволоки из высокоуглеродистой стали с наноструктурой, включающий деформацию заготовки путем приложения тянущего усилия с одновременным приложением дополнительной деформации сдвига вращением получен патент РФ [31].

При совмещении двух роликовых волок, вращающихся в разные стороны, был разработан способ изготовления высокопрочной проволочной арматуры периодического профиля, для создания на поверхности проволоки-заготовки мелкодисперсной, равновесной феррито-цементитной структуры. Причем толщина этого слоя зависит от глубины проникновения сдвиговой деформации, которая в свою очередь пропорциональна значению вытяжки [32].

Кроме того, РСПр имеет следующие конструктивные преимущества: роликовая волока РСПр по конструкции проще классических роликовых волок, и обеспечивает простую установку на действующее волочильное оборудование без его реконструкции и применения дополнительных устройств.

Выводы

В настоящее время для получения проволоки с мелкозернистой и наноструктурой развиваются способы непрерывной обработки, основанные на примени деформации изгиба и кручения. Однако, они требуют применения сложного оборудования, которое не всегда можно установить на волочильные машины, особенно современные.

С нашей точки зрения, наиболее эффективными являются способы, которые осуществляют кручение и вытяжку в одном очаге деформации, а установка устройств, реализующих эти способы, не требует модернизации волочильного оборудования. К таким способам относятся волочение со сдвигом и радиально-сдвиговая протяжка.

Список литературы

1. Кондаков А.И., Васильев А.С., Цыганов В.С. Эффективность взаимодействия технологических методов разной физической природы при направленном формировании качества деталей машин // Изв. вузов. Машиностроение. 2002. № 1. С. 39-45.
2. Харитонов В.А. Классификация способов ОМД по технологическим признакам при производстве проволоки // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: междунар. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Салганика. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. С. 49-58.
3. Битков В.В. Технология и машины для производства проволоки. Екатеринбург: УрО РАН, 2004.
4. Утяшев Ф.З. Связь между деформированным и структурным состояниями металла при интенсивной пластической деформации // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2011. № 5. С.33-39.
5. Пашинская Е.Г. Физико-механические основы измельчения структуры при комбинированной пластической деформации / Е.Г. Пашинская. Донецк: изд-во «Вебер» (Донецкое отделение), 2009. 352 с.
6. Копцева Н.В., Никитенко О.А., Ефимова Ю.Ю. Изменение структуры и свойств в процессе равноканального углового прессования углеродистой конструкционной стали с тонкопластинчатым строением перлита в исходной структуре // Актуальные проблемы со-

- временной науки, техники и образования: материалы 68-й межрегион. науч.-техн. конф. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. Т.1. С.67-70.
7. Количественный анализ микроструктуры заготовок из ультрамелкозернистой стали марок 20 и 45, полученных методом равноканального углового прессования / А.И. Мешкова, О.А. Никитенко, Ю.Ю. Ефимова, Н.В. Копцева // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 69-й научно-технической конференции. –Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. – Т.1. С.153-156.
 8. Гун Г.С., Чукин М.В., Емалеева Д.Г. Формирование субмикроструктурной структуры поверхностного слоя стальной проволоки с целью повышения уровня ее механических свойств // Производство конкурентоспособных метизов: Сб науч. трудов. / Под ред. канд. техн. наук. А.Д. Носова. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. Вып. 2. С. 103-108.
 9. Чукин М.В., Емалеева Д.Г. Влияние термической обработки на эволюцию структуры и свойств стальной проволоки в процессе РКУПротяжки // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2008. №2. С.70-71.
 10. Принципы проектирования непрерывного способа получения стальной проволоки с ультрамелкозернистой структурой / А.Г. Корчунов, М.В. Чукин, М.А. Полякова, Д.Г. Емалеева // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. № 1. С. 43-46.
 11. Influence of strain path changes on microstructure inhomogeneity and mechanical behavior of wire drawing products / Muszka K., Wielgus M., Majta J., Doniec K., Stefanska-Kacziela M. // Mater. Sci. Forum. 2010. 654. P. 314-317.
 12. Влияние комбинированных методов обработки на механические свойства углеродистой проволоки / М.В. Чукин, М.А. Полякова, А.Е. Гулин, Д.Г. Емалеева // Черные металлы. 2014. № 12. С. 35-39.
 13. Патент РФ №2467816 МПК В21С1/04, В21С1/00, опубл. БИ 27.11.2012.
 14. Патент РФ на полезную модель №130525 МПК В21С1/00, опубл. 27.07.2013.
 15. Hollmann. Das Schubwalzen – Ein neues Walzverfahren // Technika. – 1979. – t. 28. - № 21. – S. 1845-1846.
 16. Найзабеков А.Б., Лежнев С.Н., Панин ЕА. Теоретические исследования совмещенного процесса прокатки-прессования с использованием равноканальной ступенчатой матрицы // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2008. № 6. С. 22-26.
 17. Пашинская Е.Г., Завдоев А.В. Применение прокатки со сдвигом и традиционного волочения для формирования структуры и свойств малоуглеродистых сталей // Физика и техника высоких давлений. 2012. Том 22. № 3. С. 113-124.
 18. Рааб А.Г., Чукин М.В. Разработка нового метода интенсивной пластической деформации - волочение со сдвигом // Актуальные проблемы физического металловедения сталей и сплавов: материалы XXI Уральской школы металловедов-термистов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск, гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. 2012. С. 20-21.
 19. Патент РФ №2347632 МПК В21С 1/00. опубл. БИ 27.02.2009
 20. Потапов И.Н., Лопухин П.И. Технология винтовой прокатки. М.: Металлургия. 1990. 344 с.
 21. Инновационная технология рециклинга насосных штанг с применением технологии и министанов радиально-сдвиговой прокатки в условиях ОАО «Очерский машиностроительный завод» / С.П. Галкин, Б.А. Романцев, В.Н. Смердин, А.А. Аверьянов // Инженерная практика. 2014. № 9. С. 58-61.
 22. Патент РФ № 2389568 МПК В21В1/02, С22F1/18. Опубл. БИ. 20.05.2010.
 23. Манякин А.Ю. Повышение эффективности технологических процессов производства проволоки на основе совершенствования деформационных режимов волочения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск, 2006. 20 с.
 24. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Моделирование процесса радиально-сдвиговой протяжки // Материалы 68-й межрегион. науч.-техн. конф. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск, гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2010. Т. 1. С. 46-48.

25. Усанов М.Ю. Моделирование в программном комплексе Deform 3d процессов волочения и радиально-сдвиговой протяжки проволоки // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: междунар. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Салганика. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск, гос. техн. ун-та им. Г.И.Носова, 2012. С. 80-85.

26. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Модель формирования наноструктуры в высокоуглеродистой проволоке в процессе радиально-сдвиговой протяжки // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов: межвуз. сб. науч. тр. / под общ. ред. В.М.Самсонова, Н.Ю. Сдобнякова. Тверь: Твер. гос. ун-т, 2012. Вып. 4. С. 309-313.

27. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Состояние и направления развития непрерывных способов наноструктурирования круглой проволоки // Вестник Магнитогорского государственного технического университета. 2013. № 3 . С. 69-73.

28. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Исследование радиально-сдвиговой протяжки проволоки на основе моделирования // Металлург. 2013. № 11. С. 83-87.

29. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Методика расчета режимов деформации при радиально-сдвиговой протяжке // Обработка сплошных и слоистых материалов. 2013. № 1 (39). С. 38-41.

30. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Анализ напряженного состояния проволоки при волочении и радиально-сдвиговой протяжке. Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: междунар. сб. науч. тр. / под ред. В.М. Салганика. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск, гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. Вып. 20. С. 77-82.

31. Патент РФ №2498870 МПК В21С1/00. Опубл. БИ. 20.11.2013.

32. Патент РФ №2502573 МПК В21С1/00. Опубл. БИ. 27.12.2013.

УДК 620.197.5

УЛУЧШЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ ПУТЁМ ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТНОЙ ОБРАБОТКИ ЕЁ ПОВЕРХНОСТИ

Стеблянко В.Л., Пономарев А.П.

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

Введение

Защита металла от коррозии является одной из актуальных проблем современной промышленности. Для борьбы с проявлениями коррозии создают коррозионностойкие марки стали, применяют различные защитные покрытия. Плазменно-электролитная обработка является перспективной альтернативой существующим способам защиты от коррозии. Данная технология, будучи экологически безопасной, может использоваться для очистки металлической поверхности, нанесения защитных покрытий, а также в совмещённых процессах очистки и нанесения покрытий. Она является ресурсосберегающей, так как позволяет существенно снизить капитальные затраты средств и производственных площадей путём создания компактных агрегатов для её реализации.

Методы исследования

В лаборатории слоистых композитов и покрытий Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова в развитие инновационной деятельности вуза [1] под руководством профессора В.Л. Стеблянко проводятся исследования по оценке эффективности применения плазменно-электролитной обработки для защиты от коррозии.

Контроль качества обработки поверхности осуществляли по величине её электрического потенциала [2]. Он непосредственно связан со многими фундаментальными физическими и химическими характеристиками, отражающими энергетическое состояние вещества и его строение. Использование электрического потенциала как интегральной оценки и учет взаимосвязи этого параметра с другими физическими величинами, такими как энергия активации самодиффузии, электроотрицательность, изобарно-изотермический потенциал, дает возможность системно оценивать состояние поверхности [3, 4]. Посредством измеренного потенциала можно контролировать коррозионную стойкость. Известно, что с ростом потенциала сопротивление коррозии возрастает [5].

Оценка коррозионной стойкости образцов из низкоуглеродистой марки стали, очищенных от окалина плазменно-электролитным способом, осуществлялась по результатам их выдержки в течение шести месяцев в среде со 100 %-ой влажностью. Испытанию были подвергнуты образцы с зонами с высоким электрическим потенциалом (310-380 мВ по отношению к никелевому электроду) и с зонами с существенно меньшим потенциалом (130-180 мВ по отношению к никелевому электроду). Величина электрического потенциала на образцах до плазменно-электролитной обработки имела порядок значений от 40 до 80 мВ. Наблюдаемое существенное изменение потенциала поверхности в результате плазменно-электролитной обработки связано как с высококачественным удалением с поверхности окалина, так и с модифицированием поверхностного слоя.

Для сравнения коррозионной стойкости образцов, подвергнутых разным способам обработки, проведено исследование по определению скорости коррозии гравитационным методом (по убыли массы после пребывания в течение определённого времени в 10 %-ом растворе серной кислоты). Для испытания использовались необработанные образцы и образцы, подвергнутые плазменно-электролитной обработке, механической обработке и химическому травлению [6].

Как было отмечено ранее, плазменно-электролитная обработка может применяться непосредственно для нанесения покрытий [7]. Для исследования защитной способности покрытий, полученных плазменно-электролитным способом, были проведены сравнительные испытания образцов с цинковым покрытием, сформированным по данной технологии, горячим и гальваническим способами.

Качество цинкового покрытия, оцениваемое по ГОСТ 792-67, определялось как показатель стойкости покрытия к стравливанию его в растворе медного купороса.

Результаты исследования и их обсуждение

Эксперимент по определению коррозионной стойкости в среде со 100 %-ой влажностью показал, что области с высокими значениями электрического потенциала не были подвержены коррозии за весь период выдержки во влажной среде и сохранили первоначальный вид, а в зонах с низким потенциалом в течение первых двух недель образовалась коррозия, которая в дальнейшем не получила развития [2].

Полученные результаты объективно отражают взаимосвязь электрического потенциала с качеством обработки поверхности и её коррозионной стойкостью.

Сравнительная оценка коррозионной стойкости (**табл. 1**) образцов, подвергнутых плазменно-электролитной обработке, механической обработке и химическому травлению, в 10 %-ом растворе серной кислоты позволила сделать вывод о невозможности достижения при применении традиционных методов обработки металлической поверхности коррозионной стойкости, сопоставимой по уровню с коррозионной стойкостью образцов после плазменно-электролитной обработки.

Таблица 1

Результаты определения коррозионных свойств при различных способах обработки металлической поверхности

Вид обработки	Скорость коррозии, г/м ² ·ч	Проницаемость, мм/год
Плазменно-электролитная обработка	0,0197	0,022
Химическое травление	0,0470	0,053
Механическая обработка	0,1530	0,172
Без обработки	0,8280	0,930

Применение электроразрядной плазмы для обработки образцов из низкоуглеродистой марки стали привело к значительному снижению скорости коррозии и позволило перевести их из группы «пониженно-стойкие» (7 баллов по шкале коррозионной стойкости по ГОСТ 5272-68) в группу «стойкие» (4 балла), к которой относятся и некоторые марки нержавеющей и легированных сталей [6]. Важным в сравнительной оценке коррозионных свойств является то, что наилучшие результаты достигаются при реализации экологически безопасной технологии.

Результаты испытаний на качество цинкового покрытия представлены в табл. 2 [7]. Благодаря использованию электроразрядной плазмы было получено покрытие более высокого качества, чем при применении традиционных способов. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что требуемое высокое качество цинкового покрытия может быть обеспечено покрытием нового вида с существенно меньшей поверхностной плотностью. Это следует рассматривать как эффективное направление экономии дефицитного цветного металла.

Таблица 2

Результаты испытаний на качество цинкового покрытия

Вид покрытия	Поверхностная плотность, г/м ²	Количество погружений
Плазменно-электролитное	117	12
Горячее	235	6
Гальваническое	112	3

Улучшенное качество образцов с плазменно-электролитным покрытием объясняется теми процессами, которые протекают в ходе его формирования. В результате воздействия электроразрядной плазмы на обрабатываемой поверхности происходит сварка плавлением частиц цинка в местах привязки микродуг, а также сварка давлением их вследствие явления кавитации, при котором осуществляется перенос частиц покрытия в эти зоны. В итоге, в покрытии образуются сваренные области, которые имеют несплошный характер за счёт дискретности воздействия электроразрядной плазмы, а также за счёт внутренних напряжений, возникающих в процессе формирования покрытий. Между границами этих областей и происходит, в первую очередь, процесс разрушения покрытия под действием раствора медного купороса. Безусловно, повышением сплошности сваренных областей можно достичь ещё более высокой стойкости покрытия [8].

Заключение

Результаты проведённых исследований говорят о том, что плазменно-электролитная обработка существенно повышает коррозионную стойкость стали и позволяет снижать затраты на производство металлопродукции с защитными покрытиями за счёт экономии цветных металлов, расходуемых на получение покрытий.

Список литературы

1. Гун Г.С. Инновационные методы и решения в процессах обработки материалов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова: журнал. – 2014. – № 4. – С. 99-113.
2. Стеблянко В.Л., Пономарев А.П., Адаев А.Р. Повышение качества обработки и эксплуатационных свойств металлической поверхности на основе контроля и управления её электрическим потенциалом // Черные металлы: ежемесячный журнал. – 2011. – Июнь (специальный выпуск). – С. 47-50.
3. Стеблянко В.Л., Адаев А.Р. Совершенствование управления качеством очистки металлической поверхности путём контроля её физико-химического состояния по величине электрического потенциала // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2008. – № 3. – С. 60-63.
4. Стеблянко В.Л., Пономарев А.П. Системный подход к управлению качеством модифицирования металлической поверхности по величине её электрического потенциала // Управление большими системами: материалы VIII Всероссийской школы-конференции молодых ученых. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. – С. 321-324.
5. Малахов А.И., Жуков А.П. Основы металловедения и теории коррозии. – М.: Высшая школа, 1978. – 192 с.
6. Стеблянко В.Л., Пономарев А.П. Исследование комплексного влияния модифицирования поверхности металлоизделий электроразрядной плазмой на их эксплуатационные свойства // Бюллетень научно-технической и экономической информации «Черная металлургия»: ежемесячный журнал. – 2012. – № 6. – С. 52-55.
7. Стеблянко В.Л., Пономарев А.П. Улучшение эксплуатационных свойств цинкового покрытия на основе формирования особенностей его структуры при плазменно-электролитной обработке поверхности // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова: журнал. – 2012. – № 3. – С. 37-41.
8. Стеблянко В.Л., Пономарев А.П. Новые достижения в защите металлопродукции от коррозии с применением плазменно-электролитной обработки // XV International scientific conference «New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering»: a collective monograph / edited by Monika Zajemska. – Poland, Częstochowa, 2014. – С. 472-475.

РЕФЕРАТЫ

УДК 621.771

Гун Г.С. Достижения магнитогорских учёных в обработке материалов давлением (научный обзор).

В статье использованы оригинальные исследования, проведенные в Магнитогорском государственном техническом университете им. Г.И. Носова на протяжении 30 лет, посвященные оценке и управлению качеством продукции и технологии металлургического производства. В результате проведенных исследований внедрены инновационные технологии производства крепежных изделий, стальных фасонных профилей высокой точности, канатов, проволоки, высокопрочной арматуры на метизных предприятиях России. Разработаны и внедрены методики оценки и управления качеством для конкретных видов изделий. Разработанная и развитая в трудах магнитогорских ученых теория прикладной квалиметрии, позволила прогнозировать и управлять качеством металлопродукции и технологическими процессами.

Библ. 139 назв.

Ключевые слова: качество, обработка металлов давлением, метизное производство, системный подход

УДК 621.778.5: 677.721

Харитонов В.А., Лунев В.Е., Полякова М.А., Ефимова Ю.Ю. Калибрующее обжатие канатов двойной свивки в роликовой волоке.

Рассмотрены особенности канатов двойной свивки. Отмечается, что для канатов данного типа применяется операция пластического обжатия. Рассмотрены стадии пластического обжатия канатов. Проведен анализ теории обжатия канатов. На основе опыта применения калибрующего обжатия прядей каната оценена возможность агрегатного калибрующего обжатия канатов двойной свивки. По аналогии с калибрующим обжатием прядей агрегатное калибрующее обжатие канатов позволяет повысить их качество благодаря повышенной точности геометрических размеров, обеспечению полосового контакта проволок и созданию благоприятного напряженного состояния. Определены направления дальнейших исследований по освоению промышленного производства таких канатов.

Рис. 3. Библ. 9 назв.

Ключевые слова: канат, свивка, пластическое обжатие, прядь

УДК 623.445: 531.58

Загорянский В.Г. Оптимизация характеристик противопульной биметаллической брони по критерию предельной скорости пробития.

В статье в качестве критерия эффективности противопульной биметаллической брони принята предельная скорость сквозного пробития. Проанализированы зависимости для расчета предельной скорости сквозного пробития брони, предложенные разными авторами. Наиболее приемлемой для случая оптимизации характеристик двухслойного биметалла как материала для противопульной брони признана зависимость К.А. Березина. На ее основе разработана оптимизационная модель, позволяющая определять оптимальные толщины композиции и входящих в нее слоев и их механические свойства. Оптимизацию по критерию предельной скорости пробития предлагается проводить с использованием инструмента Поиск решения (реализуется в Microsoft Excel), выбрав в качестве переменных толщину брони и предел текучести ее материала.

Рис. 1. Библ. 11 назв.

Ключевые слова: противопульная броня, предельная скорость пробития, двухслойная композиция, стальная броня с алюминиевой подложкой, оптимизационная модель.

УДК 621.791

Вотинова Е.Б., Шалимов М.П. Парциальные коэффициенты перехода углерода, марганца и кремния при ручной дуговой сварке.

Современные тенденции развития науки и техники характеризуются разработкой, внедрением и широким использованием различных моделей, создаваемых как на базе традиционного экспериментального подхода, так и с применением новейших информационных технологий. На сегодняшний день применяются такие подходы к оценке состава металла шва, как расчет по смешению, расчет с учетом коэффициентов перехода, регрессионные уравнения, термодинамические или кинетические расчеты. В данной работе приводятся физическая и математическая модели процесса ручной дуговой сварки покрытыми электродами. Физическая модель основывается на взаимодействии фаз при сварке, а математическая – на полном материальном балансе каждого элемента в каждой из фаз. Рассматриваются зависимости парциальных коэффициентов перехода от плотности мощности, а также взаимосвязь парциальных и усредненного коэффициентов перехода при расчете наплавленного металла и металла шва.

Рис. 2. Табл. 2. Библ. 7 назв.

Ключевые слова: ручная дуговая сварка, моделирование, коэффициент перехода элемента, состав металла шва

УДК 621.79; 669.36

Бахматов Ю.Ф., Лебедева И.Г., Темиргалеев К.Р. Оценка влияния ресурсных полей на процесс переноса расплава, позиционированного в пространстве магнитным полем, на покрываемое изделие.

В МГТУ разрабатывается технологический процесс нанесения из расплава протекторных металлических покрытий на стальные конструкции. В предлагаемой работе приведены предварительные результаты по оценке положительных и отрицательных факторов, влияющих на смачивание поверхности изделия (стальной ферромагнитной проволоки) расплавом и взаимодействию последнего с капиллярной ферромагнитной средой.

Рис. 2. Библ. 3 назв.

Ключевые слова: расплав, металлические покрытия, капиллярная ферромагнитная среда, магнитное поле

УДК 621.771

Гун Г.С., Корчунов А.Г., Пивоварова К.Г. Исследование смазки для сухого волочения металла с применением термического анализа.

Рассмотрено применение термического анализа для исследования термической стабильности смазок, оцениваемой по температуре начала окисления и минимальному изменению потери массы (5%). Показана возможность определения влажности смазок с помощью анализатора углерода и воды CW MULTIPASSE фирмы ELTRA

Рис. 1. Табл. 1. Библ. 7.

Ключевые слова: волочение, смазка, термический анализ, термическая стабильность, гигроскопичность

УДК 621.771

Файзулина Р.В., Молева О.Н., Виноградов В.П. Возможности улучшения потребительских свойств черной жести с повышенными пластическими свойствами.

В статье рассматривается возможность улучшения потребительских свойств жести, в частности повышения пластичности. Внедрение технических решений в технологию колпакового отжига позволило улучшить требуемые механические свойства, твердость, глубину сферической лунки готовой жести.

Рис. 2. Табл. 4. Библ. 3.

Ключевые слова: жесь, колпаковый отжиг, механические свойства, твердость, глубина сферической лунки по Эриксен.

УДК 621.778

Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Калибрующее обжатие канатов двойной свивки в роликовой волоке.

Рассмотрены особенности канатов двойной свивки. Отмечается, что для канатов данного типа применяется операция пластического обжатия. Рассмотрены стадии пластического обжатия канатов. Проведен анализ теории обжатия канатов. На основе опыта применения калибрующего обжатия прядей каната оценена возможность агрегатного калибрующего обжатия канатов двойной свивки. По аналогии с калибрующим обжатием прядей агрегатное калибрующее обжатие канатов позволяет повысить их качество благодаря повышенной точности геометрических размеров, обеспечению полосового контакта проволок и созданию благоприятного напряженного состояния. Определены направления дальнейших исследований по освоению промышленного производства таких канатов.

Рис. 10. Библ. 32 назв.

Ключевые слова: канат, свивка, пластическое обжатие, прядь

УДК 620.197.5

Стеблянко В.Л., Пономарев А.П. Улучшение коррозионной стойкости металлопродукции путём плазменно-электролитной обработки её поверхности.

В статье изложены результаты применения плазменно-электролитной обработки в процессах очистки и нанесения покрытий для защиты металлопродукции от коррозии. Проведённые исследования указали на возможность перевода коррозионнонестойких материалов в класс стойких. Приведённые результаты сравнительного анализа свойств цинковых покрытий показали, что новый вид покрытия имеет существенные преимущества перед покрытиями, получаемыми горячим (из расплава) и гальваническим способами. А именно, он обеспечивает достижение заданных потребительских свойств покрытия при меньшей его поверхностной плотности, что делает возможным экономию дефицитных цветных металлов, расходов на получение покрытий.

Рис. Табл. 2. Библ. 8 назв.

Ключевые слова: плазменно-электролитная обработка, электроразрядная плазма, коррозионная стойкость, электрический потенциал, скорость коррозии, проницаемость, поверхностная плотность, сварка плавлением, сварка давлением.

REPORTS

UDK 621.771

Gun G.S. Achievements of Magnitogorsk scientists in material forming processing (scientific review).

Overview of main scientific trends and theoretical results of one of the leading departments in Russia – mechanical and metallurgical process engineering department of Nosov Magnitogorsk state technical university is presented.

Bibliograf. 137 names.

Keywords: material forming process, quality, metalware production, system approach, innovative methods.

UDK 621.778.5: 677.721

Kharitonov V.A., Lunev V.E., Polyakova M.A., Efimova Yu.Yu. Double lay ropes caliber cobbing in the roll die.

Peculiarities of double lay ropes are discussed. It is mentioned that plastic cobbing is used for ropes of this type. Stages of ropes plastic cobbing are described. Plastic cobbing theory is analyzed. The ability of double lay ropes aggregate calibrate cobbing is estimated based on the use of rope strand calibrate cobbing. As strand calibrate cobbing ropes aggregate calibrate cobbing makes it possible to improve their quality due to higher geometrical dimensions accuracy, wire contact in the form of stripe and ensuring favourable stress state. Tendencies for further investigations aimed at industrial application of such ropes are appointed.

Fig. 3. Bibliograf. 9 names.

Keywords: rope, lay, plastic cobbing, strand

UDK 623.445: 531.58

Zagoryansky V.G. Optimization of bimetallic bulletproof armor's characteristics by criterion of limit speed of through-penetration.

In the paper the limit speed of the through-penetration is accepted as a criterion for the effectiveness of bulletproof bimetallic armor. The dependences for the calculation of the limit speed of the through-penetration of armor proposed by different authors are analyzed. The dependence of K.A. Berezin is recognized as the most appropriate for the case of two-layer optimization of the characteristics of bimetal as material for bulletproof armor. On its basis the optimization model is developed, which allows to determine the optimal thickness of the composition and its constituent layers and their mechanical properties. Optimization by criterion of speed limit of through-penetration is proposed to conduct using the tool Solver (implemented in Microsoft Excel), choosing as the variables thickness of the armor and its yield strength of the material.

Fig. 1. Bibliograf. 11 names.

Keywords: bulletproof armor, limit speed of through-penetration, two-layered composition, steel armor with an aluminum substrate, optimization model.

UDK 621.791

Votnova E.B, Shalimov M.P. Partial factors for conversion of carbon, manganese and silicon for manual arc welding.

Modern trends in the development of science and technology are characterized by the development, introduction and wide use of different models produced on the basis of the traditional experimental approach and using advanced information technologies. Today apply such approaches to the assessment of the composition of the weld metal, as the calculation for the mixture, the calculation taking into account the transition coefficient, regression equation, thermodynamic or kinetic calculations. The paper presents physical and mathematical models of the process of manual arc welding with coated electrodes. The physical model is based on the interaction of the phases during welding, and math - complete the material balance of each element in each phase. Examines the dependence of partial coefficients of the transition from power density and the partial correlation and the average transition rates in the calculation of the weld metal and the weld metal.

Fig. 2. Table. 2. Bibliograf. 7 names.

Keywords: manual arc welding, modeling, the transition rate of the element composition of the weld metal.

UDK 621.79; 669.36

Bakhmatov Yu.F., Lebedeva I.G., Temirgaleev K.R. Estimation of recourse fields affect on transfer process onto the plating item liquid metal positioned in space by magnetic field.

The technological process of forming the protective metal coatings on steel constructions from liquid phase is carried out in NMSTU. The preliminary estimation results of positive and negative factors which affect on product surface wetting (carbon ferromagnetic wire) and its interaction with capillary ferromagnetic medium are presented in this paper.

Fig. 2. Bibliograf. 3 names.

Keywords: molten metal coating, capillary ferromagnetic media, the magnetic field

UDK 621.771

Gun G.S., Korchunov A.G., Pivovarova K.G. Investigation of lubricant for dry metal drawing using thermal analysis.

Application of thermal analysis for the study of lubricants thermal stability, which is estimated by temperature of oxidation beginning and minimal weight change (5%), was considered. Possibility of lubricant moisture determination by using carbon and water analyzer CW MULTIPSAE (ELTRA) was shown.

Fig. 1. Table. 1. Bibliograf. 7 names.

Keywords: drawing, lubrication, thermal analysis, thermal stability, hygroscopicity

UDK 621.771

Fayzulina R.V., Moleva O.N., Vinogradov V.P. Abilities for customers properties improvement of sheet metal with enhanced plastic properties.

The article describes the possibility of improving the consumer properties of the tin plate, in particular to improve ductility. Implementation of technical solutions in the technology of the batch annealing has improved the required mechanical properties, hardness and Erichsen test of the tin plate.

Fig. 2. Table. 4. Bibliograf. 4 names.

Keywords: tin plate, batch annealing, mechanical properties, hardness (HR30T), Erichsen test.

UDK 621.778

Kharitonov V.A., Usanov M.Yu. Double lay ropes caliber cobbing in the roll die.

Peculiarities of double lay ropes are discussed. It is mentioned that plastic cobbing is used for ropes of this type. Stages of ropes plastic cobbing are described. Plastic cobbing theory is analyzed. The ability of double lay ropes aggregate calibrate cobbing is estimated based on the use of rope strand calibrate cobbing. As strand calibrate cobbing ropes aggregate calibrate cobbing makes it possible to improve their quality due to higher geometrical dimensions accuracy, wire contact in the form of stripe and ensuring favourable stress state. Tendencies for further investigations aimed at industrial application of such ropes are appointed.

Fig. 10. Table. 1. Bibliograf. 32 names.

Key words: rope, lay, plastic cobbing, strand

UDK 620.197.5

Steblyanko V.L., Ponomarev A.P. Improvement of corrosion resistance of metal products by plasma-electrolytic treatment of their surface.

The article presents the results of application of plasma-electrolytic treatment in surface cleaning and coating for corrosion protection of metal. The researches have shown the possibility of transferring of corrosion-nonresistant metals to the group of corrosion-proof materials. The results of comparative analysis of zinc coatings properties have indicated that the new type of coating has significant advantages over hot-dip galvanizing and electrolytic zinking. Namely, it provides the desired consumer properties of the coating with its lower surface density that makes it possible to save scarce nonferrous metals that are spent for coating.

Fig. 7. Table. 2. Bibliograf. 8 names.

Key words: Plasma-electrolytic treatment, electric discharge plasma, corrosion resistance, electric potential, corrosion rate, permeability, surface density, fusion welding, pressure welding.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Бахматов Юрий Федорович - канд. техн. наук, доцент кафедры физики ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: ybakhmatov@yandex.ru.

Виноградов Виталий Поликарпович - канд. хим. наук – директор Исследовательского Центра «Новые технологические процессы производства проката с покрытиями» ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина». Москва, Россия. E-mail: vinogradov-52@mail.ru

Вотинова Екатерина Борисовна - старший преподаватель ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина». E-mail: votinovacat@rambler.ru.

Гун Геннадий Семенович - д-р техн. наук, советник ректора, профессор кафедры «Машиностроительных и металлургических технологий» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: mgtu@magtu.ru.

Ефимова Юлия Юрьевна - канд. техн. наук, доцент кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: jefimova78@mail.ru.

Загорянский Владимир Георгиевич - канд. техн. наук, доцент; докторант кафедры технологии машиностроения Кременчугского национального университета имени Михаила Остроградского, г. Кременчуг, Украина; E-mail: zagor_vlad@ukr.net

Корчунов Алексей Георгиевич - д-р техн. наук, профессор, проректор по международной деятельности ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: agkorchunov@mail.ru.

Лебедева Ирина Григорьевна – магистрант кафедры физики ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: lebedeva_irina@mail.ru.

Лунев Владимир Ефимович – канд. техн. наук, ОАО «ММК-МЕТИЗ».

Молева Ольга Николаевна - ассистент кафедры химии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Пивоварова Ксения Григорьевна - канд. техн. наук, доцент кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: kgpivovarova@gmail.com.

Полякова Марина Андреевна - канд. техн. наук, доцент кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: m.polyakova-64@mail.ru.

Пономарев Антон Павлович – старший преподаватель кафедры химии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: antonpon@mail.ru.

Стеблянок Валерий Леонтьевич – д-р техн. наук, профессор кафедры химии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: v.steblyanko@mail.ru.

Темиргалеев Камил Рамильевич – аспирант кафедры физики ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». ООО «Евростандарт», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: ybakhmatov@yandex.ru.

Усанов Михаил Юрьевич - старший преподаватель кафедры металлургии и стандартизации филиала ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова в г. Белорецке». E-mail: barracuda_m@mail.ru.

Файзулина Римма Вафировна – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры физики ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: r.fayzulina@gmail.com.

Харитонов Вениамин Александрович – канд. техн. наук, профессор кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: mgtu@magtu.ru.

Шалимов Михаил Петрович – д-р техн. наук, профессор ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Bakhmatov Yuriy Fedorovich – Ph.D., assistant professor of physics department FSBEI HPE «Nosov Magnitogorsk State Technical University». E-mail: ybakhmatov@yandex.ru.

Gun Gennady Semenovich – Dr. of Sc., prof., advisor of the rector, professor of the Mechanical and Metallurgical Process Engineering Department, Nosov Magnitogorsk state technical university. E-mail: goun@magtu.ru.

Efimova Yulia Yurievna - associate professor, candidate of science (technology), the associate professor of the Mechanical and Metallurgical Process Engineering Department, Nosov Magnitogorsk state technical university. E-mail: jefimova78@mail.ru.

Lebedeva Irina Grigorievna – Master, Physics Department, Nosov Magnitogorsk state technical university. E-mail: ybakhmatov@yandex.ru.

Korchunov Alexey Georgevich – D-r of technical science, vice-rector for International Relations, Nosov Magnitogorsk state technical university. Russia. E-mail: agkorchunov@mail.ru.

Kharitonov Veniamin Aleksandrovich – professor, candidate of science (technology), professor of the Mechanical and Metallurgical Process Engineering Department, Nosov Magnitogorsk state technical university. E-mail: mgtu@magtu.ru. (3519) 29-84-81

Lebedeva Irina Grigorievna – Master, Physics Department, Nosov Magnitogorsk state technical university». E-mail: lebedeva_irina@mail.ru. OAO “MMK-METIZ”.

Moleva Olga Nikolaevna – assistan of the department “Chemistry”, Nosov Magnitogorsk state technical university.

Pivovarova Kseniya Grigorevna – associate professor, candidate of science (technology), the associate professor of the Mechanical and Metallurgical Process Engineering Department, Nosov Magnitogorsk state technical university. E-mail: kgpivovarova@gmail.com.

Polyakova Marina Andreevna - associate professor, candidate of science (technology), the associate professor of the Mechanical and Metallurgical Process Engineering Department, Nosov Magnitogorsk state technical university. E-mail: m.polyakova-64@mail.ru.

Ponomarev Anton Pavlovich – senior lecturer of the department “Chemistry”, Nosov Magnitogorsk state technical university. E-mail: antonpon@mail.ru.

Shalimov Mikhail Petrovich – Dr. of Sc., Professor of department of Welding technology, Russian Federation, Ekaterinburg, Ural federal university.

Steblyanko Valery Leont’evich – Dr. of Sc., prof. of the department “Chemistry” , Nosov Magnitogorsk state technical university. E-mail: v.steblyanko@mail.ru.

Timirgaleev Kamil Ramilyevich – postgraduate student of Physics Department, Nosov Magnitogorsk state technical university. E-mail: ybakhmatov@yandex.ru.

Usanov Mikhail Yuryevich - Senior Lecturer, Department of Metallurgy and Standardization, the Branch of Nosov Magnitogorsk state technical university in Beloretsk. E-mail: barracuda_m@mail.ru.

Votinova Ekaterina Borisovna - senior lecturer department of Welding technology, Russian Federation, Ekaterinburg, Ural federal university. E-mail: votinovacat@rambler.ru.

Vinogradov Vitaliy Polikarpovich - candidate of science (chemical) – Head of the Investigating Center «New Technological Processes of Coated Rolled Metal Production» Chernet I.P. Bardin. Moscow. Russia. E-mail: vinogradov-52@mail.ru

Zagoryansky Vladimir Georgievich - candidate of technical sciences, associated professor, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, Ukraine, E-mail: zagor_vlad@ukr.net

**УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!
МЫ ПРИГЛАШАЕМ ВАС К УЧАСТИЮ В НАШЕМ ЖУРНАЛЕ В КАЧЕСТВЕ
АВТОРОВ, РЕКЛАМОДАТЕЛЕЙ И ЧИТАТЕЛЕЙ.**

ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ, ПРИНИМАЕМЫМ К ПУБЛИКАЦИИ

1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СТАТЬИ (на русском и английском языках)

1.1. Наименование статьи (не более 15 слов). Должно кратко отражать содержание статьи. Не рекомендуется использовать сокращения и аббревиатуры.

1.2. Аффiliation. Указывается фамилия, имя, отчество авторов (транслитерация), ученая степень, звание, должность, полное название организации (ее официально принятый английский вариант), адрес электронной почты хотя бы одного из авторов.

1.3. Аннотация (100-250 слов). Включает гипотезу, цель, эксперименты и методы, основные результаты, применение результатов исследования в промышленности (излагается в прошедшем времени).

Онлайн - перевод запрещается!

1.4. Ключевые слова: от 5 до 15 основных терминов.

2. СТРУКТУРА ОСНОВНОЙ ЧАСТИ СТАТЬИ

2.1. Введение (постановка проблемы)

2.2. Теория, материалы и методы исследования, технические и технологические разработки

2.3. Результаты исследования и их обсуждение

2.4. Заключение (выводы)

2.5. Список литературы (на русском и английском языках)

3. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

3.1. Рекомендуемый объем статьи – 6-10 стр.

3.2. Текст статьи, сведения об авторах, аннотация ключевые слова и список литературы представляются на электронном носителе в виде файла, созданного средствами **Microsoft Word**, и распечаткой на стандартных листах бумаги формата А4.

При наборе статьи в **Microsoft Word** рекомендуется следующие установки:

- **шрифт** – **Times New Roman**, размер – 12 пт, межстрочный интервал – одинарный, перенос слов - автоматический;
- при вставке **формул** использовать встроенный редактор формул **Microsoft Equation** со стандартными установками, применяется только сквозная нумерация;
- **рисунки и фотографии**, вставленные в документ, должны быть четко выполнены, допускать перемещение в тексте и возможность изменения размеров (толщины линий и размеры обозначений должны обеспечивать четкость при уменьшении рисунка до рациональных размеров), в форматах *.TIF, *.JPG, с разрешением **не менее 300 dpi**, V&W – для черно-белых иллюстраций, Grayscale – для полутонов. Максимальный размер рисунка с подписью – 150x235 мм. В тексте статьи должны быть подрисуночные подписи в местах размещения рисунков. Например:

Рис. 4. Расчетная зависимость $\gamma(t) = I_{nt} / I_{n0}$ от времени и удаленности КЗ

от выводов асинхронного двигателя

- **таблицы** нумеруются, если их число более одной. Заголовок необходим, когда таблица имеет самостоятельное значение, без заголовка дают таблицы вспомогательного характера.

3.3. При подготовке рукописи необходимо руководствоваться Международной системой единиц **СИ**.

4. ДОКУМЕНТЫ, ПРИЛАГАЕМЫЕ К СТАТЬЕ

4.1. Рецензия.

4.2. Экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати.