

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.А. Минаев - член-корреспондент НАН Украины, Заслуженный деятель науки и техники Украины, д-р техн. наук, проф., ректор Донецкого национального технического университета;

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. Падуа, 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, 2014

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 25.07.14. Заказ 565. Тираж 500 экз. Цена свободная

PROCESSING OF SOLID AND LAMINATE MATERIALS

№ 1 (40) June 2014 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.A. Minaev - corresponding member of NAN of Ukraine, Honoured master of sciences and engineering of Ukraine, D.Sc. in engineering, prof, rector of Donetsk national technical university.

M. Knapinski – prof., Dr. of sciences, vice dean on science of faculty of processes engineering, materials and applied physics, Chenstokhovsky 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., assoc. 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, 2014

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

455000, Chelyabinsk Region, Magnitogorsk, Lenin Avenue, 38

Publication date 25.07.14. Order 565. Circulation - 500 items. Free price

СОДЕРЖАНИЕ

Гильманишина Т.Р., Беляев С.В., Баранов В.Н., Королева Г.А., Лыткина С.И., Косович А.А.	
Развитие теории и практики повышения качества поверхности отливок и слитков за счет применения активированных скрытокристаллических графитов.....	5
Семашко М.Ю., Шеркунов В.Г., Чигинцев П.А., Экк Е.В., Карева Н.Т.	
Экспериментальное исследование металлических образцов, подвергнутых интенсивной пластической деформации.....	11
Соколов А.А., Пудов Е.А.	
Производство высокопрочной упаковочной ленты с лакокрасочным покрытием с целью замены ленты зарубежных производителей.....	19
Харитонов В.А., Иванцов А.Б.	
Повышение эффективности действующих рихтующих устройств при производстве стальных канатов.....	24
Копцева Н.В., Чукин Д.М., Никитенко О.А., Ефимова Ю.Ю., Голубчик Э.М., Ильина Н.Н.	
Особенности формирования структуры при закалке высокопрочных инварных сплавов с низким температурным коэффициентом линейного расширения.....	27
Гулий М.Ф., Юркова Е.В.	
Освоение производства арматурной проволоки Вр-1 нестандартных размеров.....	33
Гурьянов Г.Н.	
Критерий для оценки эффективности формоизменения в проходе волочения круглого сплошного профиля.....	37
Харитонов В.А., Усанов М.Ю.	
Сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния проволоки при волочении и радиально-сдвиговой протяжке.....	44
Барышников М.П., Чукин М.В., Бойко А.Б., Ильина Н.Н.	
К вопросу выбора критериев разрушения при математическом моделировании процессов обработки давлением в современных программных комплексах.....	48
Иванов В.А., Яров Б.А., Шеркунов В.Г.	
Исследование процесса высокоскоростного компактирования порошковых композиций на основе графита.....	55
Голубчик Э.М., Телегин В.Е., Хамутских К.С., Ильина Н.Н.	
Исследование возможностей управления шероховатостью поверхности горячекатаной травленной ленты в процессе ее дрессировки.....	62
Гун Г.С., Корчунов А.Г., Пивоварова К.Г., Ульянов А.Г.	
Моделирование упругого последействия металла при волочении.....	67
Рефераты.....	72
Reports.....	76
Сведения об авторах.....	79
The information about the authors.....	81

CONTENTS

Gilmanshina T.R., Baranov V.N., Korolyova G.A., Лыткина С.И., Коссович А.А.	
Development of the theory and practice of quality improvement surface ingots and castings due to the use of cryptocrytalline graphite activated.....	5
Semashko M.Yu., Sherkunov V.G., Chigintsev P.A., Ekk E.V., Kareva N.T.	
Experimental investigation of metal samples subjected to severe plastic deformation.....	11
Sokolov A.A., Pudov E.A.	
Production of high-strength packing tape with lacquer coating to replace the tape made by foreign producers.....	19
Haritonov V.A., Ivansov A.B.	
Improvement efficiency of operating dressing equipments in the production of steel ropes.....	24
Kopceva N.V., Chukin D.M., Nikitenko O.A., Efimova Y.Y., Golubchik E.M., Ilyina N.N.	
Features of structure formation during quenching HIGH-strength Invar alloys with a low temperature coefficient of linear expansion.....	27
Guly M.F., Jurkova E.V.	
Mastering the production of reinforcing wire Bp-1 special sizes.....	33
Guryanov G.N.	
Criterion for assessing the efficiency formoizmeneniya in the passage drawn round solid profile.....	37
Haritonov V.A., Usanov M.Yu.	
Comparative analysis of stress-strain state in wire drawing and radial-shear broach.....	44
Baryshnikov M.P., Chukin M.V., Boiko A.B., Ilyina N.N.	
To the question of choice of failure criteria for mathematical modeling of pressure treatment in modern software systems.....	48
Ivanov V.A., Yarov B.A., Sherkunov V.G.	
Study of high-velocity compaction of powder compositions based on graphite.....	55
Golubchik E.M., Telegin V.E., Hamutskih K.S., Ilyina N.N.	
Research management capabilities surface roughness hot-rolled pickled tion tape during her training.....	62
Gun G.S., Korchunov A.G., Pivovarova K.G., Ulyanov A.G.	
Recovery effect simulation of metal when drawing.....	67
Рефераты.....	72
Reports.....	76
Сведения об авторах.....	79
The information about the authors.....	81

РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ОТЛИВОК И СЛИТКОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ АКТИВИРОВАННЫХ СКРЫТОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ГРАФИТОВ

(Посвящается памяти д-ра техн. наук, проф. Маминой Л.И.)

Гильманшина Т.Р., Беляев С.В., Баранов В.Н.,

Королева Г.А., Лыткина С.И., Косович А.А.

ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

Введение

В настоящее время основным способом получения отливок из чугуна является метод литья в разовые формы, где основная доля дефектов поверхности приходится на пригар. Пригар ухудшает товарный вид отливки, повышает затраты на их механическую обработку и удлиняет цикл производства отливок за счет увеличения длительности очистных операций. Все это приводит к удорожанию литых изделий. Наиболее доступным и распространенным способом предотвращения пригара является применение противопригарных покрытий, значительная часть материалов которых в российские литейные цеха поставляется из-за рубежа. Поэтому в России возникла необходимость создания технологий противопригарных покрытий из отечественных материалов. Актуальность данной задачи подтверждается постановлениями Правительства РФ о модернизации и технологическом развитии российской экономики и повышения ее конкурентоспособности, где одним из направлений повышения эффективности литейного производства является замена импортных материалов и изделий на отечественные аналоги.

Наиболее доступным и распространенным наполнителем разделительных и противопригарных покрытий для черного и цветного литья является скрытокристаллический графит, значительная доля запасов которого в России сосредоточена в Красноярском крае. В то же время отсутствуют научно обоснованные технологии его подготовки, активации и использования не только для изготовления разделительных покрытий, но и для других графитсодержащих изделий, используемых не только в литейном производстве, но в металлургии, в целом.

Одним из основных переработчиков графита Красноярских месторождений (ГКМ) является ОАО «Красноярскграфит», поставляющий графит марки ГЛС-3, который не находит широкого использования, как в литейном производстве, так и в других отраслях промышленности из-за высокого содержания зольных примесей и трудной обогатимости графитовых руд.

Целью работы является разработка научно обоснованного комплекса технических и технологических решений, направленных на повышение качества обработки скрытокристаллического ГКМ. Разработка и внедрение новых процессов его подготовки и активации для получения тонкодисперсных активированных товарных марок, новых видов материалов и изделий на основе ГКМ является актуальным.

Традиционная схема обогащения графитовой руды предусматривает дробление, измельчение, черновую флотацию, многостадийное доизмельчение чернового концентрата с последующей флотацией [1]. Наилучшее качество ГКМ с исходной зольностью 20–25 % достигнуто по флотационной схеме при двухстадийном измельчении руды до 90 % класса 0,074 мм с межцикловой флотацией. Таким методом был получен концентрат, содержащий 15–18 % зольного остатка. Следовательно, традиционный метод обогащения ГКМ не обеспечивает получение малозольного концентрата и затрудняет его использование в литейном производстве.

На ОАО «Завальевском графитовом комбинате» (Украина), являющимся основным поставщиком кристаллического графита промышленного назначения, был разработан способ его обогащения. Он включал спекание графита с кальцинированной содой при 800-900 °С с последующим водным выщелачиванием и химическое обогащение растворами кислот [2]. Применение данной технологии для скрытокристаллического ГКМ оказалось практически невозможным из-за тесного срастания графитовых частиц с нерудными минералами. Распространение последних в руде неравномерно (от 5 до 40 %) и представлено рассеянной вкрапленностью (размером частиц от 0,05 до 0,001 мм), отдельными зернами или агрегативными образованиями, секущими руду по всем направлениям. Размеры крупных выделений при этом достигают 0,2 мм.

Принципиальная возможность дальнейшего повышения качества графитовых концентратов из ГКМ связана с поиском условий возможно более полного раскрытия сростков графитовых частиц и зольных примесей. Для достижения этого было предложено использовать механоактивацию, как первую стадию обогащения графита. При использовании механоактивации происходит не только измельчение графитовых частиц и раскрытие сростков, но и увеличение реакционной способности графита [3].

В результате теоретических и экспериментальных исследований, выполняемых в ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» на кафедре «Литейное производство», возникло научное направление, основанное д-ром техн. наук, проф. Л.И. Маминой, по механической активации противоположных и связующих материалов и была обоснована перспективность использования ГКМ в качестве наполнителя литейных материалов и изделий. При этом наиболее перспективными способами повышения свойств ГКМ можно считать совмещенные процессы механо- и химической активации, обогащение и десульфурацию, которые направлены на изменение параметров кристаллической решетки и снижение зольности, благодаря чему повышаются эксплуатационные и технологические свойства графитсодержащих изделий.

Материалы и методы исследования

Основным минералом в рудах ГКМ является графит, а второстепенными - нерудные минералы: кварц, полевошпат, кальцит, хлорит, сульфиды и углистое вещество. Растворимая в серной кислоте форма железа достигает 3,62-4,8 %, содержание примесей в среднем составляет 7-25 %. Для исследований выбраны ГКМ Ногинского марки ГЛС-3(Н) и Курейского марки ГЛС-2(К). Активацию графита осуществляли в планетарно-центробежной мельнице АГО-2 при оптимальных режимах, представленных в работе [4].

Для оценки степени воздействия различных способов активации на структуру и свойства графитов и его изменения при нагревании использовали высокотемпературный рентгенофазовый анализ (РФА) на рентгеновском дифрактометре XRD-7000 (Shimadzu, Япония). Зольность графита определяли по ГОСТ 17818.4-90. Свойства покрытий оценивались по стандартным методикам (ГОСТ 17022-78).

Результаты исследования и их обсуждение

С увеличением времени активации зольность графита марки ГЛС-3(Н) возрастала на 5-7 % и не изменялась при дальнейшей активации (**рис. 1**). Наблюдаемый эффект увеличения зольности можно объяснить более легким измельчением и высвобождением зольных примесей из графитовых частиц. Зольность графита марки ГЛС-2 (К) в этих условиях существенно не меняется. Поскольку технология обогащения кристаллического графита, разработанная на ОАО «Завальевском графитовом комбинате», для исследуемых скрытокристаллических графитов не дала положительных результатов, было решено обрабатывать графит марки ГЛС-3(Н) в процессе его механоактивации с кальцинированной содой с последующим химическим выщелачиванием. Предполагалось, что примесные частицы в процессе активации

должны активно реагировать с кальцинированной содой, а развивающиеся в ходе механоактивации высокие температуры заменят операцию спекания (рис. 2).

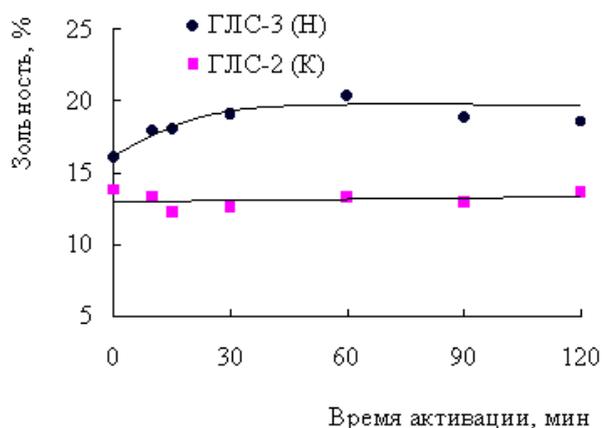


Рис. 1. Зависимость зольности графитов ГЛС-3(Н) и ГЛС-2(К) от времени активации графита

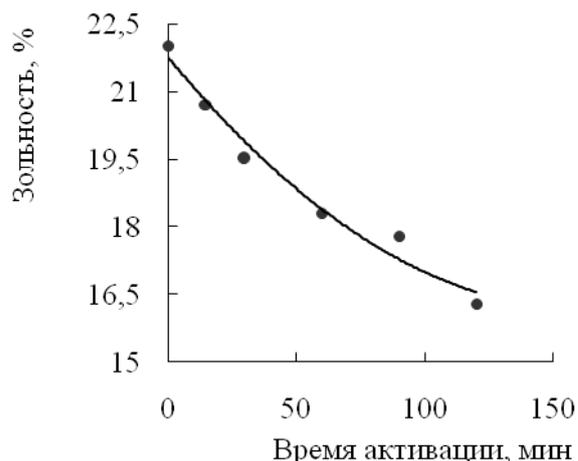


Рис. 2. Зависимость зольности графита ГЛС-3(Н) от времени активации графита с кальцинированной содой

Полученные результаты показали, что механоактивация смеси графита и кальцинированной соды с последующим водным выщелачиванием и химическим обогащением способствует стабильному снижению зольных примесей до 16,5 %. Дальнейшее увеличение длительности этой операции (более 120 мин) нецелесообразно, т.к. к заметному улучшению качества конечного продукта не приводит. Существенное снижение зольных примесей образцов ГЛС-3(Н) при обработке их в планетарно-центробежной мельнице в присутствии добавок кальцинированной соды связано с возможностью точечного развития высоких температур в обрабатываемом материале, при этом происходит твердофазное спекание зольных примесей и кальцинированной соды без внешнего воздействия температур.

Возможность высокоскоростного деформирования материала под воздействием больших нагрузок, точечное спекание компонентов смеси приводит к образованию из зольных компонентов – SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 и солей кальцинированной соды: силикатов (Na_2SiO_3), алюминатов (NaAlO_2), ферритов (NaFeO_2). Дальнейшее водное выщелачивание в течение 60 мин полученной смеси позволяет удалить их растворимую компоненту – силикат натрия.

Следует отметить, что феррит и алюминат натрия в слабощелочной среде частично гидролизуются с образованием высокодисперсных осадков ($\text{Al}(\text{OH})_3$ и $\text{Fe}(\text{OH})_3$), что затрудняет последующую фильтрацию пульпы.

Для максимального извлечения нерастворимых зольных примесей образцы, содержащие гидроксиды алюминия и железа, карбонаты кальция и магния, предложено обрабатывать 5 % раствором серной кислоты с последующей их промывкой до нейтральной среды. При взаимодействии карбонатов кальция и магния с кислотой произошло образование растворимых сульфатов, что позволило снизить зольность графита в ходе данного химического обогащения с 22 до 16 %.

Как метод обогащения материала механоактивация не может полностью заменить операцию спекания. Варьирование условий термообработки смеси «графит–кальцинированная сода» показало, что оптимальными параметрами этого процесса являются температура 700-900 °С в течение 60-120 мин при времени активации смеси 60-120 мин (рис. 3, 4).

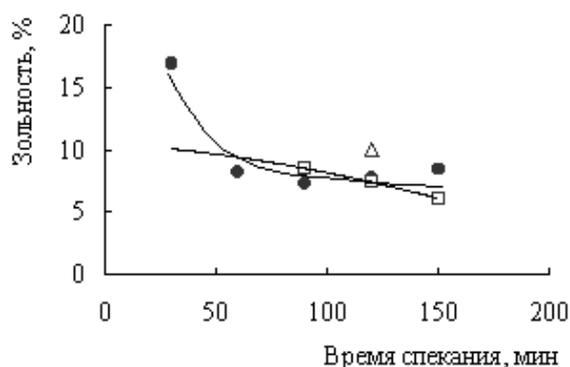


Рис. 3. Зависимость зольности графита ГЛС-3(Н) от времени активации и времени спекания (температура спекания 860 °С). Время активации, мин: Δ – 0; ● – 60; □ – 120



Рис. 4. Зависимость зольности графита ГЛС-3(Н) от содержания воды в смеси «графит-кальцинированная сода-вода»

Снижение температуры спекания с 860 до 740°С снизило зольность графита ГЛС-3(Н) незначительно - с 6,0 до 5,5 %. Увеличение температуры должно было позволить в большей мере удалять кремневую составляющую зольного остатка, однако процесс сопровождается горением шихты при контакте с кислородом воздуха. Этому способствует высокоразвитая поверхность активированного графита, его повышенная химическая активность. Некоторое увеличение зольности, вероятно, связано с более полным выгоранием графитовой массы.

Применение данной технологии для обогащения графита марки ГЛС-2(К) снизило его зольность с 13,8 до 2,2 %.

Таким образом, предварительная совместная активация графита и соли щелочного металла снижает температуру термообработки с 850-900 до 700-750 °С и сокращает расход соли щелочного металла на 40-45 % на тонну скрытокристаллического графита (по сравнению с известной технологией обогащения кристаллического графита).

Таким образом, в результате проведенных исследований был разработан механотермохимический способ обогащения скрытокристаллического ГКМ, включающий активацию графита с кальцинированной содой, спекание активированной смеси с последующим водным выщелачиванием и химическим обогащением. Использование данного способа позволило снизить зольность Ногинского графита с 20-25 % (графит марки ГЛС-3(Н)) до 4-6 % (графит марки ГЛС-0А(Н)), а для Курейского графита – с 10-15 % (графит марки ГЛС-2(К)) до 2-4 % (графит марки ГЛС-0А(К)).

Данные по элементному составу (рис. 5, 6) свидетельствуют о снижении в образцах Курейского графита компонентов – железа (с 5,6 до 0,25 %), алюминия (с 1,1 до 0,2 %), кальция (с 2,2 до 0,5 %); а в образцах Ногинского графита компонентов – железа (с 4,2 до 1,5 %), кальция (с 2,5 до 1 %) и калия (с 0,8 до 0,3 %), магния (с 0,9 до 0,5 %).

Фазовый состав образцов обогащенного графита ГЛС-3(Н) и ГЛС-2(К) обнаружил незначительное (до 1 %) содержание примесных фаз (кальцита, монтмориллонита, каолинита и других). Кварц, как наименее реакционноспособный компонент, удаляется из графита не полностью, труднее измельчается и химически инертен.

Для исследования влияния качества графита на свойства изделий было выбрано графитсодержащее разделительное покрытие для чугунных изложниц, предназначенных для получения слитков из аффинажного золота. При получении слитков аффинажного золота на заводе ОАО «Красцветмет» основным дефектом является повышенная шероховатость слитков, которая увеличивает себестоимость слитков [5].

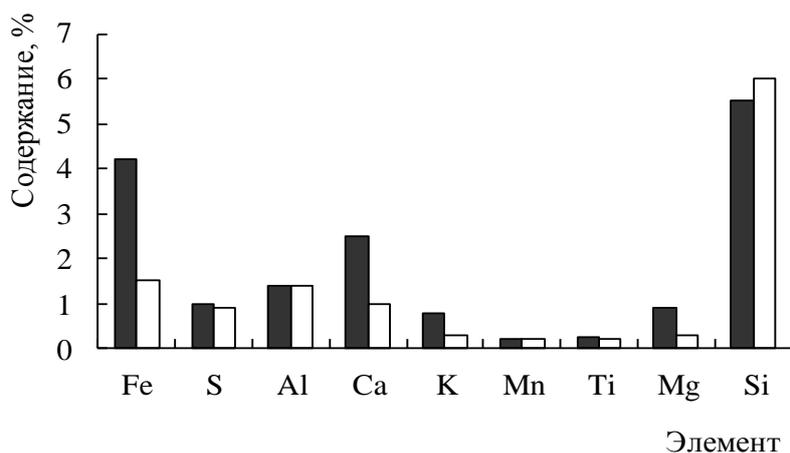


Рис. 5. Элементный состав графита ГЛС-3(Н) (А – зольность):
 ■ – ГЛС-3(Н), А = 20 %; □ – ГЛС-0А(Н), А = 5,5 %

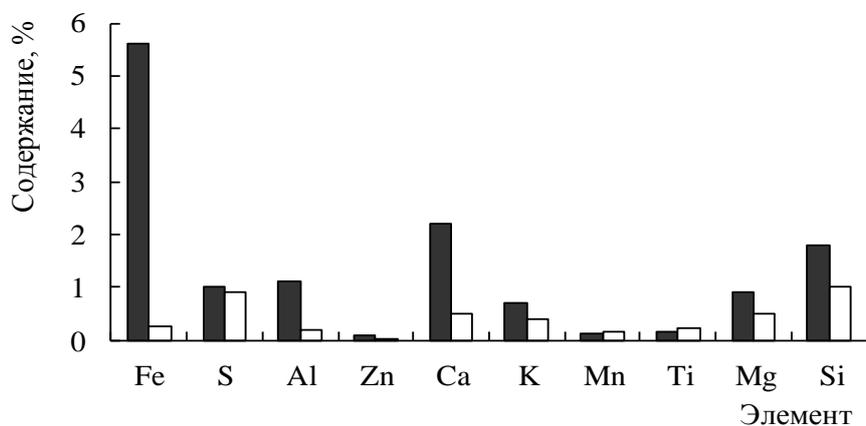


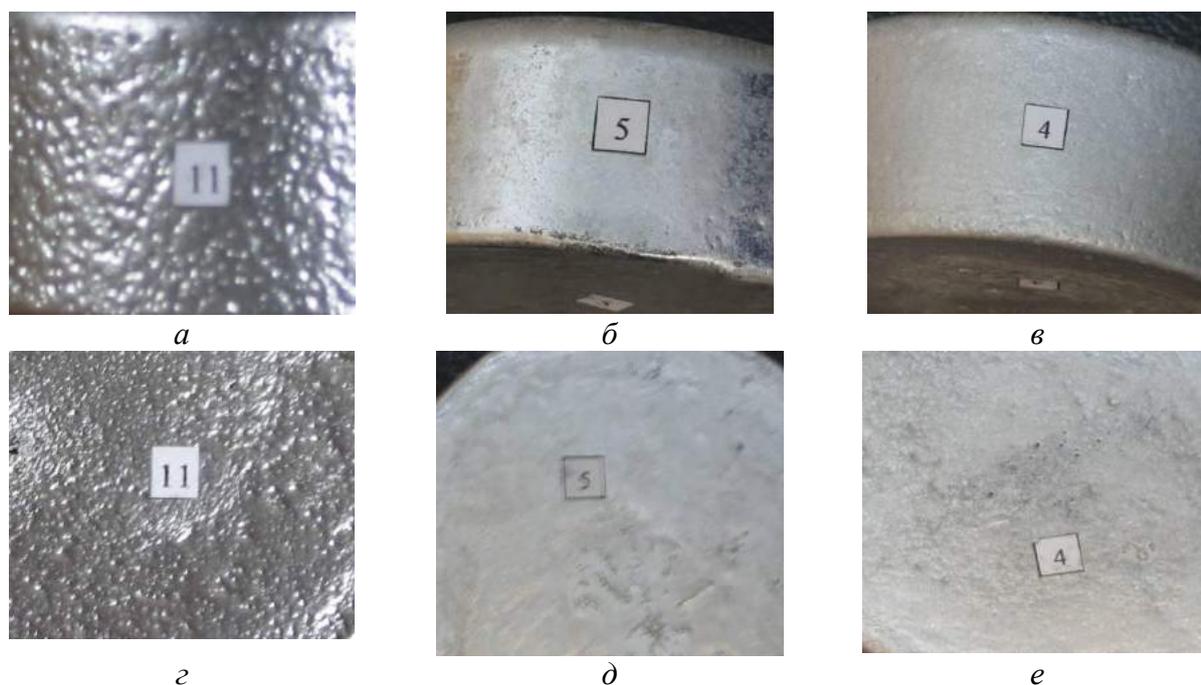
Рис. 6. Элементный состав графита ГЛС-2(К) (А – зольность)
 ■ – ГЛС-2(К), А = 15 %; □ – ГЛС-0А(К), А = 2,0 %

Состав и свойства разделительного покрытия на основе графитов различного качества приведены в **таблице**.

Покрытие на стандартном графите ГЛС-2(К) обладает самой низкой седиментационной устойчивостью, что связано с тем, что у него более крупные частицы, по сравнению с активированными графитами Ногинского и Курейского месторождений. Седиментационная устойчивость и толщина покровного слоя у покрытий повышается с увеличением удельной поверхности и уменьшением среднего размера частиц. Термостойкость у всех покрытий высокая и по абсолютной величине расхождения составляет не более 5 %, что находится в пределах ошибки эксперимента. Кроме графита марки ГЛС-0А(Н), высокие свойства придают покрытию активированные графиты. Проведенные исследования по влиянию качества графита на свойства покрытия позволили выбрать наиболее оптимальный состав на графите ГЛС-0А(Н), что способствовало получению слитков из золота с наименьшей шероховатостью (**рис. 7**).

Влияние качества графита на свойства разделительного покрытия

Компонент, %	Номер состава покрытия			
	1	2	3	4
Графит ГЛС-3	35	–	–	–
Графит ГЛС-3А	–	35	–	–
Графит ГЛС-2А	–	–	35	–
Графит ГЛС-0А(Н)	–	–	–	35
Жидкое стекло (модуль 2,7, плотность – 1,495 г/см ³)	27			
Вода	До плотности 1,36 г/см ³			
Свойства				
Условная вязкость (по ВЗ-4), с	13	14	5	17
Приведенная прочность, кг/мм покрытия	Более 15			
Толщина покровного слоя, мм	0,2	0,1	0,1	0,1
Седиментационная устойчивость, % через (ч):				
0,5	98	100	98	99
1,0	97	100	96	99
3,0	95	100	99	99
24,0	67	90	94	98
Термостойкость, %	100	100	100	99



**Рис. 7. Поверхность слитков золота, полученных без применения покрытия (а, г) и с использованием разделительного покрытия на основе графитов марок ГЛС-3А(Н) (б, д) и ГЛС-0А(Н) (в, е):
а, б, в – боковая сторона слитка; г, д, е – донная часть слитка**

Выводы

В результате проведенных исследований:

1. Разработан комплекс технических и технологических решений, позволяющий улучшать физико-химические свойства скрытокристаллического графита в зависимости от области его дальнейшего использования за счет снижения зольности графита до 2-4 %.
2. Создано универсальное жидкостекольное разделительное покрытие на активированном обогащенном графите на чугунные изложницы для литья слитков из золота, позволяющее снижать шероховатость слитков из золота с Rz50 до Rz20.

Список литературы

1. Брагина В.И., Брагин В.И. Обогащение нерудных полезных ископаемых : учеб. пособие. Красноярск: ГАЦМиЗ, 1995. 100 с.
2. Шохин В.Н., Есепкин В.А. и др. Технология получения малозольного графита // Графиты и их применение в промышленности: сб. науч. тр.
3. Хасиев Д.Р., Королева Г.А. и др. Механохимический способ получения низкзолных графитовых концентратов из руды Ногинского месторождения // Перспективные материалы, технологии, конструкции: сб. науч. тр. Красноярск: ГАЦМиЗ, 1999. Вып. 5. С. 24–26.
4. Мамина Л.И., Гильманшина Т.Р., Новожинов В.И. и др. Способы повышения качества литейного графита отдельными и комплексными методами активации: монография. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011. 160 с.
5. Мамина Л.И., Баранов В.Н., Гильманшина Т.Р. и др. Наноструктурированные графитсодержащие изделия: монография. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. 268 с.

References

1. Bragina V.I., Bragin V.I. Enrichment of non-metallic minerals: Proc. Manual. Krasnoyarsk: GATsMiZ, 1995. 100 p.
2. Shokhin V.N., Esepkin V.A. etc. Technology for producing low-ash graphite // Graphite and their application in industry: Sat Nauchn . tr., 1977. 53 с.
3. Hasiev D.R., Korolyova G.A. etc. Mechanochemical Synthesis of low-ash graphite concentrates from ore deposits Noginskogo // Advanced Materials, technology, design: Collection of scientific articles. Krasnoyarsk: GATsMiZ, 1999. Vol. 5. P. 24-26.
4. Mamina L.I., Gil'manshina T.R., Novozhonov V.I. etc. Ways to improve the casting graphite separate and complex activation methods: monograph. Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2011. 160 p.
5. Mamina L.I., Baranov V.N., Gil'manshina T.R. etc. Nanostructured graphite-containing products: monograph. Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2013. 268 p.

УДК 621.771

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ, ПОДВЕРГНУТЫХ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Шеркунов В.Г., Семашко М.Ю., Чигинцев П.А.

ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)»

(г. Челябинск)

Натурный эксперимент – один из важнейших этапов научных исследований, позволяющий сделать вывод о верности теоретических оценок и реальной эффективности изучаемых процессов.

Перед проведением натурального эксперимента производился расчет в программном комплексе Deform, позволяющем оценить формоизменение заготовки, показанное на **рис. 1**, ее напряженно-деформированное состояние в каждый момент, а также энергосиловые параметры процесса.

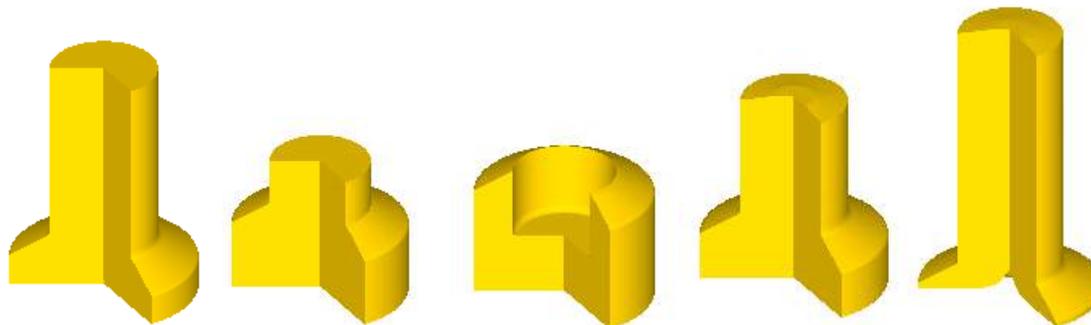
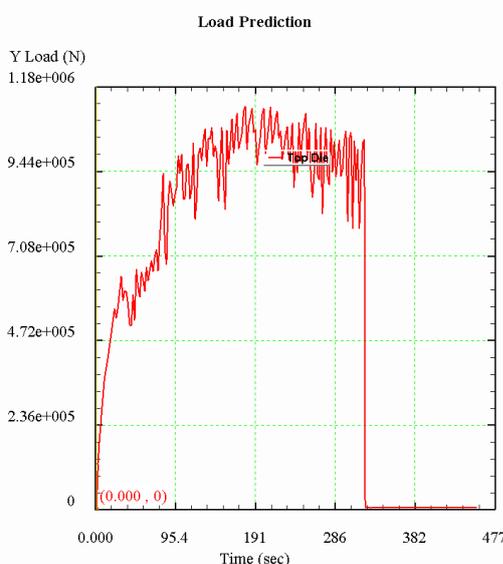


Рис. 1. Последовательные состояния заготовки

При формировании задачи в математической модели задавались параметры, аналогичные планируемому натурному эксперименту. Таким образом, усредненное усилие прямого хода деформирования составило 100 тс, а максимальное значение - 112 тс. При обратном ходе эти величины составили 144 и 170 тс, соответственно. Графики усилия деформирования представлены на **рис. 2** - для прямого и на **рис. 3** - для обратного хода и представляют собой зависимость усилия на инструменте от времени.

Материалом заготовки в данном исследовании была выбрана техническая медь марки М1. Размер заготовки цилиндрической формы составил 33 мм в диаметре и 102 мм - в длину. Перед деформированием прутки были отожжены в течение 30 минут при температуре 800 °С с охлаждением в воде. При проведении эксперимента оснастка нагревалась вместе с заготовкой до температуры последней, равной 90 °С и измеренной на верхнем ее торце.

Первый цикл деформирования, описанный в [1], и последовательные стадии которого показаны на **рис. 1**, проводился с использованием пуансона длиной 74 мм [2, 3]. При этом усилие процесса в прямом направлении (от начальной заготовки до стадии получения стакана) составило 113 тс, а в обратном (при получении из стакана цилиндрической заготовки) – 125 тс.



тс.

Рис. 2. График усилия на прямом ходу

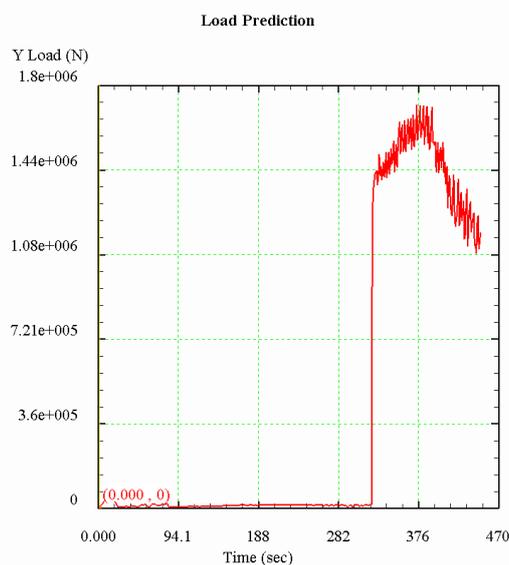


Рис. 3. График усилия на обратном ходу

Второй и последующие циклы деформирования проводились пуансоном длиной 93 мм. Температура заготовки во втором цикле составила также, как и в первом, 90 °С. При этом при прямом ходе усилие составило 120 тс, а на обратном - 117 тс.

Третий цикл, как и первые два, проводился при температуре заготовки 90 °С. Усилие деформирования на прямом ходу составило 120 тс, а на обратном - 138 тс. Резкое увеличение потребного усилия на обратном ходу, а также его изменение в процессе деформирования (наблюдался его резкий спад в конце хода), по мнению авторов, вызван накоплением металла в зазорах штамповой оснастки и их отделением от основной заготовки.

Четвертый цикл осуществлялся при температуре заготовки, равной 100 °С, что связано с инерционностью нагревательной системы. Усилие деформирования при этом составило 113 тс для прямого хода и 133 тс - для обратного.

Пятый цикл проводился при остывающей оснастке (без дополнительного разогрева). Усилия деформирования прямого хода возросли до 117 тс, а на обратном ходу остались на уровне 133 тс. Конечная температура заготовки составила 80 °С, после чего заготовка была охлаждена на воздухе.

Для анализа микроструктуры было изготовлено 7 образцов: три поперечных и два продольных из деформированной заготовки (**рис. 4**) и по одному поперечному из меди в состоянии поставки и после отжига.

Образцу материала в состоянии поставки отвечает **рис. 5**. Микроструктура образца характеризуется высокой неоднородностью и крупным зерном размером до 475 мкм (см. **рис. 5**). Подавляющая же часть зерен находится в диапазоне размеров от 120 до 230 мкм. Наименьший размер зерна на участке микрошлифа равен 68,5 мкм. При этом размеры зерен по длине и ширине относительно равны.

На **рис. 6** показан недеформированный образец после отжига в течение получаса при температуре 800 °С. Видно, что после термической обработки размеры значительной части зерен находятся в интервале от 25 до 100 мкм. Кроме этого структура стала более однородной, о чем говорит меньшая разница между наибольшими и наименьшими зернами. При этом абсолютные размеры зерен остались неизменными в плоскости микрошлифа.



Рис. 4. Деформированная заготовка, разрезанная на образцы

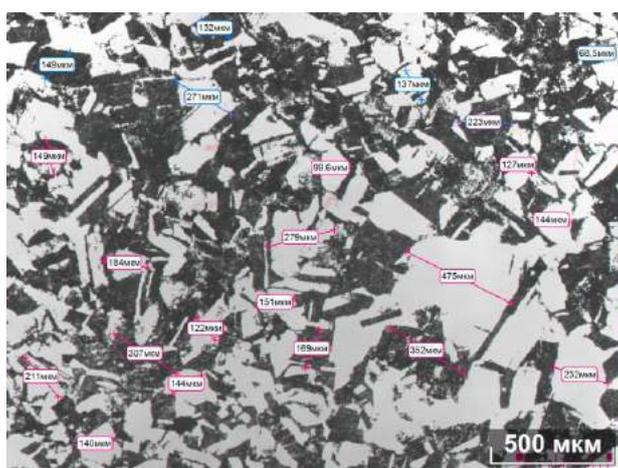


Рис. 5. Микроструктура меди в состоянии поставки

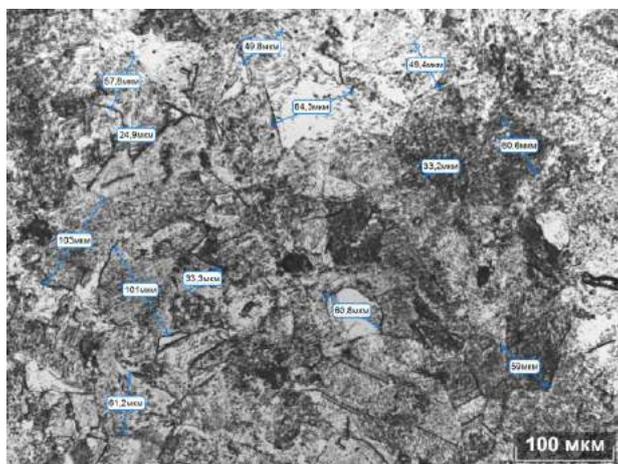


Рис. 6. Размеры зерен в микроструктуре меди после отжига при 800 °С в течение 30 минут

Образец, изображенный на **рис. 7–9**, изготовлен из нижней части заготовки (нижний, см. **рис. 4**) после 5 циклов деформирования. Внутри больших зерен и по их границам расположено множество субзерен или зародышей новых зерен, появившихся позднее (см. **рис. 7**). Их размеры показаны на **рис. 8**. Зародыши новых зерен и субзерна внутри больших зерен и на их границах также указаны стрелками (см. **рис. 9**). Видно, что новые кристаллические образования расположены не только вблизи границ больших зерен, но и по всему объему последних, что дает возможность говорить о зародышах новых зерен, что, в свою очередь, говорит об активном изменении микроструктуры материала в процессе деформирования.

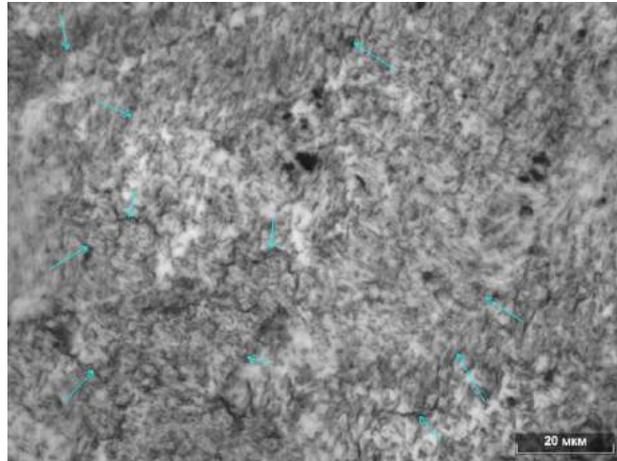


Рис. 7. Границы зерен в образце после деформирования (нижняя часть заготовки)

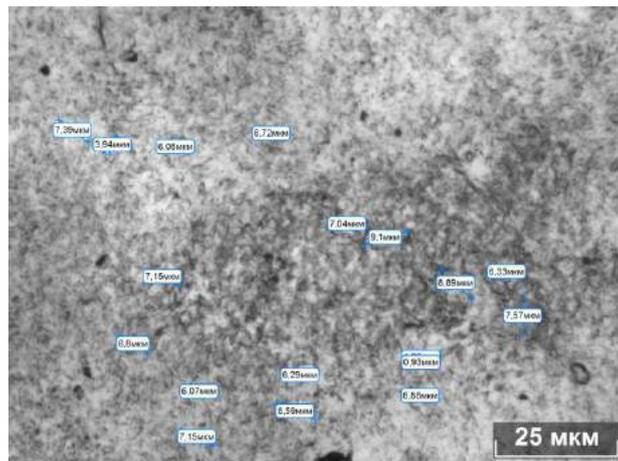


Рис. 8. Размеры субзерен и зародышей новых зерен в образце (нижняя часть заготовки)

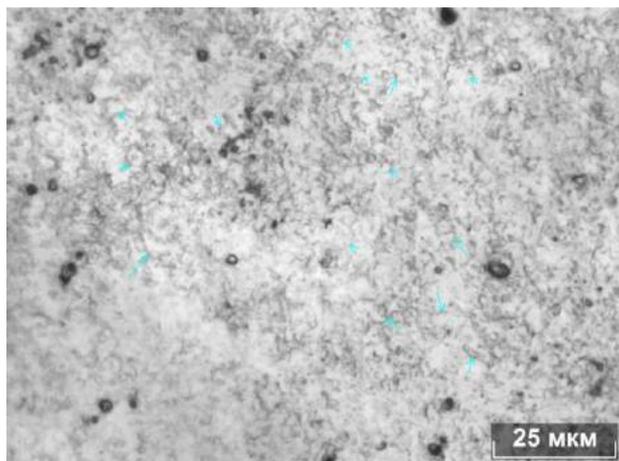


Рис. 9. Субзерна и зародыши новых зерен в образце (нижняя часть заготовки)

На **рис. 10** изображен поперечный образец, вырезанный из средней части деформированной заготовки. По сравнению с образцом из нижней части заготовки, в данном срезе заметно меньшая плотность зародышей новых зерен внутри старых (больших) и субзерен по их границам (см. **рис. 10**). Этот эффект возникает в силу неравномерности деформации заготовки: наиболее активное деформирование происходит в нижней части заготовки, что отражается на микроструктуре материала. На фотографии микрошлифа видно несколько зерен с размером от 65 до 78 мкм с большим количеством субзерен величиной 6 – 20 мкм, образовавшихся по их границам (**рис. 11**).

Таким образом, микроструктура нижней части заготовки незначительно отличается от средней. Различия выражаются в том, что в образце из нижней части заготовки немного мельче размеры больших зерен (их разница составляет порядка 20 %), а также неодинаковы величины субзерен (1-10 мкм внизу в отличие от 6-20 мкм в середине).

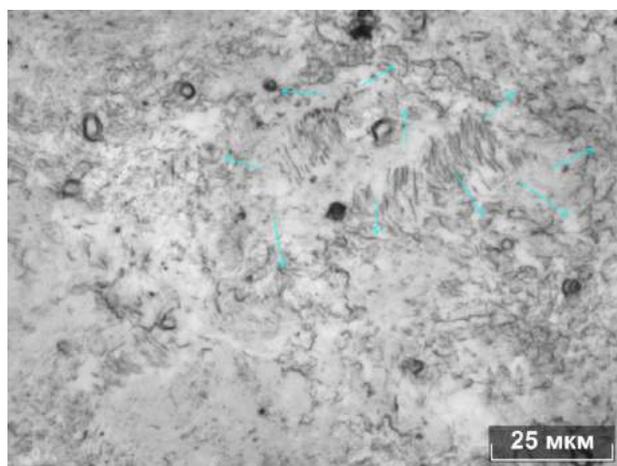


Рис. 10. Субзерна и зародыши новых зерен в образце (средняя часть заготовки)

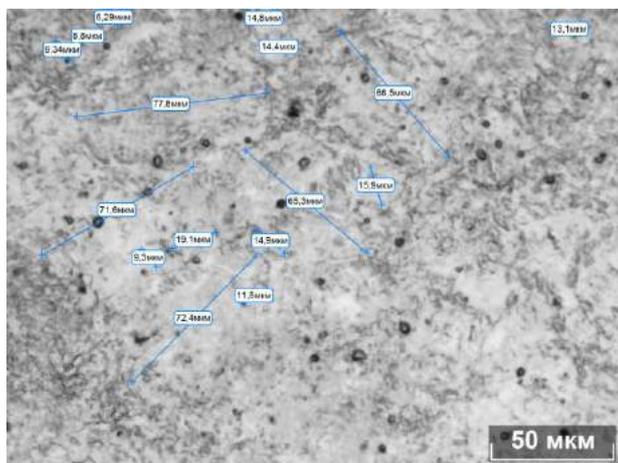


Рис. 11. Размеры зерен и субзерен в образце (средняя часть заготовки)

Следующий образец вырезан в продольном направлении из верхней части деформированной заготовки. Его микроструктура представлена на **рис. 12**. Видно, что зерна металла имеют значительно вытянутую форму в осевом направлении: размер зерен по оси значительно превышает их размер поперек оси (примерно в 5 раз). При этом наименьший размер большей части зерен составляет менее 10 мкм.

Кроме всего прочего, на данном образце присутствует дефект, вызванный деформированием заготовки: раковина на оси заготовки (см. **рис. 4**). Участок микрошлифа, на котором раковина находится в нижнем правом углу, показан на **рис. 13**. Наличие этого дефекта говорит о том, что при протекании процесса происходит активное течение материала заготовки, а также наблюдается эффект «залечивания» дефектов. Однако на данном этапе исследований не удалось обеспечить достаточное противодействие, чтобы получить полностью бездефектный образец.

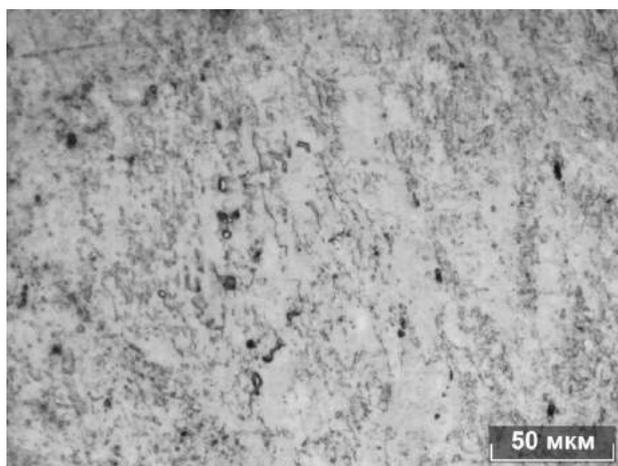
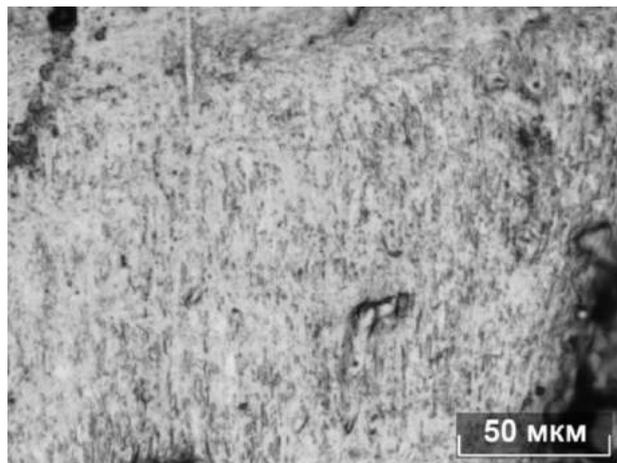
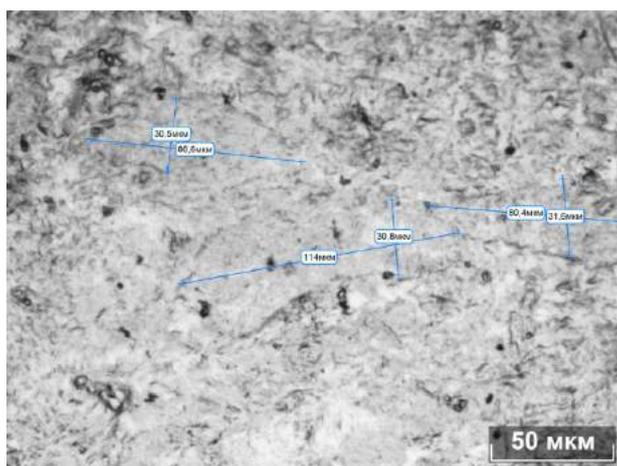


Рис. 12. Микроструктура в образце (осевое сечение верхней части заготовки)



**Рис. 13. Микроструктура в образце около дефекта
(осевое сечение верхней части заготовки)**

На **рис. 14** представлена микроструктура в образце, полученного из нижней части заготовки в осевом сечении. Аналогично образцу, отвечающему верхней части заготовки в продольном сечении, зерна имеют вытянутую форму вдоль оси со значительной разницей размеров: поперек оси около 30 мкм при осевых размерах, превышающих 100 мкм. Данная ориентация микроструктуры связана с направлением течения металла в процессе деформирования.



**Рис. 14. Размер зерен в образце
(осевое сечение нижней части заготовки)**

Для оценки изменения физико-механических свойств материала проводилось измерение микротвердости, по которому можно опосредованно судить об изменении прочностных характеристик материала. В отожженном образце твердость составила НВ 57, а в образце, вырезанном из середины деформированной заготовки - НВ 90.

Таким образом, можно сделать два основных вывода. Математическое моделирование процесса достаточно эффективно для предварительных расчетов процессов обработки металлов давлением. Ошибка в значении усилия составила до 13 %, что может быть связано

с несоответствием модели используемого материала исследуемому, упрощениях и неточностях при задании исходных параметров.

Тщательный же анализ микроструктуры деформированных и недеформированных образцов дает понять, что исследуемый способ позволяет значительно измельчать микроструктуру исходной заготовки, а значит, воздействовать на свойства материалов. Однако для более эффективного применения способа необходимо проводить дальнейшие исследования по определению режимов деформирования и параметров используемого оборудования.

Список литературы

1. Патент РФ 2424076. Способ пластического структурообразования и устройство для его осуществления / Семашко М.Ю., Трусковский В.И., Шеркунов В.Г.

2. Исследование формирования субмикроструктуры поверхностного слоя стальной проволоки с целью повышения уровня ее механических свойств / Г.С. Гун, М.В. Чукин М.В., 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.

3. Особенности реологических свойств конструкционных наносталей / М.В. Чукин, Г.С. Гун, М.П. Барышников, Р.З. Валиев, Г.И. Рааб // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2008. № 1 (21). С. 24-27.

References

1. Semashko M.Ju., Truskovskij V.I., Sherkunov V.G. Sposob plasticheskogo strukturoobrazovanija i ustrojstvo dlja ego osushhestvlenija [Plastic structure formation method and device for its implementation]. Patent RF № 2424076.

2. Investigation of forming the carbon wire surface layer submicrostructure for enhancing its mechanical properties / G.S. Gun, M.V. Chukin, D.G. Emaleyeva, N.V. Koptseva, Yu.Yu. Efimova, M.P. Baryshnikov // Vestnik of Nosov Magnitogorsk state technical university. 2007. № 3 (19). Pp. 84-86.

3. Peculiarities of construction steels reological properties / M.V. Chukin, G.S. Gun, M.P. Baryshnikov, R.Z. Valiev, G.I. Raab // Vestnik of Nosov Magnitogorsk state technical university. 2008. № 1 (21). Pp. 24 – 27.

УДК 621.771

ПРОИЗВОДСТВО ВЫСОКОПРОЧНОЙ УПАКОВОЧНОЙ ЛЕНТЫ С ЛАКОКРАСОЧНЫМ ПОКРЫТИЕМ С ЦЕЛЬЮ ЗАМЕНЫ ЛЕНТЫ ЗАРУБЕЖНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

Соколов А.А., Пудов Е.А.

ОАО «ММК-МЕТИЗ», ЦЗЛ, г. Магнитогорск, Россия

Для ОАО «ММК-МЕТИЗ» основными целями являются: повышение конкурентоспособности и расширение сортамента продукции.

С целью повышения конкурентоспособности и расширения сортамента принято решение об освоении нового вида продукции - высокопрочной упаковочной ленты с лакокрасочным покрытием, согласно требованиям современных зарубежных стандартов.

За образец была взята упаковочная лента с лакокрасочным покрытием производства фирмы СПЕСТА, используемая на ОАО «ММК» (табл. 1, 2). Образцы ленты были исследованы по различным параметрам, таким как:

- относительное удлинение;
- временное сопротивление разрыву;

- химический состав стали;
- микроструктура поверхностного слоя стали;
- толщина лакокрасочного покрытия.

Таблица 1

Физико-механические свойства образца упаковочной ленты фирмы СПЕСТА

№ образца	Размер, мм	Временное сопротивление разрыву, σ_B , Н/мм ² , не менее	Относительное удлинение, δ_4 , %, не менее
1	0,8x32	970	6
2	0,8x32	971	6

Таблица 2

Химический состав стали образца упаковочной ленты фирмы СПЕСТА

Размер, мм	Массовая доля элементов, %						
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni
0,8x32	0,15	0,49	1,45	0,004	0,019	0,05	0,03

Для ленты с заданными физико-механическими свойствами (табл. 3) решено проводить отжиг. Прокатка рулона осуществляется с делением на две части, при этом промежуточная заготовка подвергается термообработке (отжигу). Отжиг проводится в колпаковых печах типа СКБ – 6001 в ЦЛХП. Режимы отжига были подобраны экспериментально.

Таблица 3

Физико-механические характеристики упаковочной ленты

№ образца	Размер, мм	Временное сопротивление разрыву, σ_B , Н/мм ² , не менее	Относительное удлинение, δ_4 , %, не менее
1	0,8x32	789	6
2	0,8x32	799	6

Нанесение лакокрасочного покрытия на ленту является новым направлением в сфере производства на ОАО «ММК-МЕТИЗ». Для выбора оптимального варианта была изучена специальная литература, проведен анализ полученной информации. Самым подходящим способом нанесения лакокрасочного покрытия на ленту является окраска окунанием.

Также были проанализированы различные методы сушки лакокрасочного покрытия. Для условий нашего производства был выбран метод конвективной сушки.

Для нанесения лакокрасочного покрытия на ленту было решено провести модернизацию агрегата горячего цинкования АГО-1, находящегося на консервации.

Процесс нанесения лакокрасочного покрытия на стальную ленту (рис. 1) включает в себя следующие операции: размотка ленты с рулонов (1); окраска ленты в ванне с лакокрасочным материалом (4); сушка лакокрасочного покрытия в сушильном устройстве (7); парафинирование (9); намотка на барабаны (11); складирование готовой продукции.

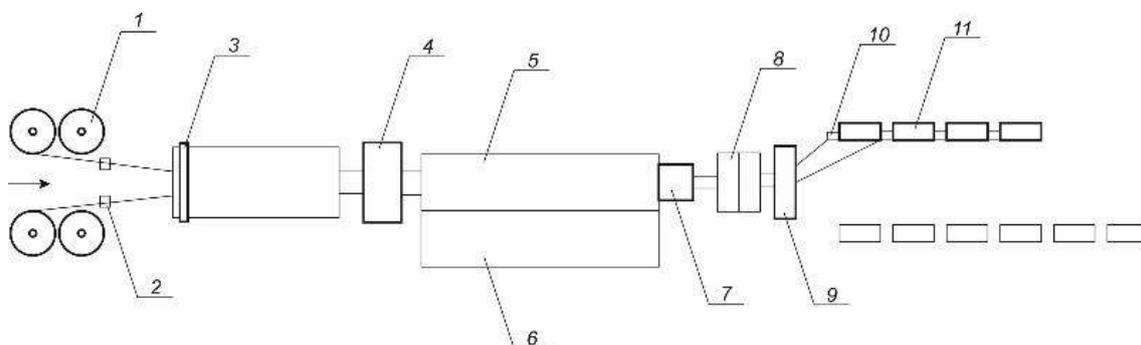


Рис. 1. Схема установки для нанесения лакокрасочного покрытия на стальную ленту:

- 1 – размоточное устройство; 2 – направляющие ролики; 3 – прижимной обтир;
 4 – узел нанесения лакокрасочного материала (ЛКМ); 5 – ванна цинкования;
 6 – колпаковая печь; 7 – печь для сушки ЛКМ; 8 – направляющие ролики;
 9 – узел парафинирования; 10 – рихтующие ролики;
 11 – намоточное устройство

В табл. 4 представлен химический состав стали.

Таблица 4

Химический состав стали образца упаковочной ленты

Размер, мм	Массовая доля элементов, %					
	C	Si	Mn	S	P	Al
0,8x32	0,30	0,28	1,47	0,005	0,016	0,046

На рис. 2 представлена микроструктура поверхностного слоя лент с нанесенным лакокрасочным покрытием. Толщина покрытия в образце № 2 составляет 37 мкм, в образце № 1 – 55 мкм. На поверхности ленты в обоих случаях обезуглероживания не наблюдается.

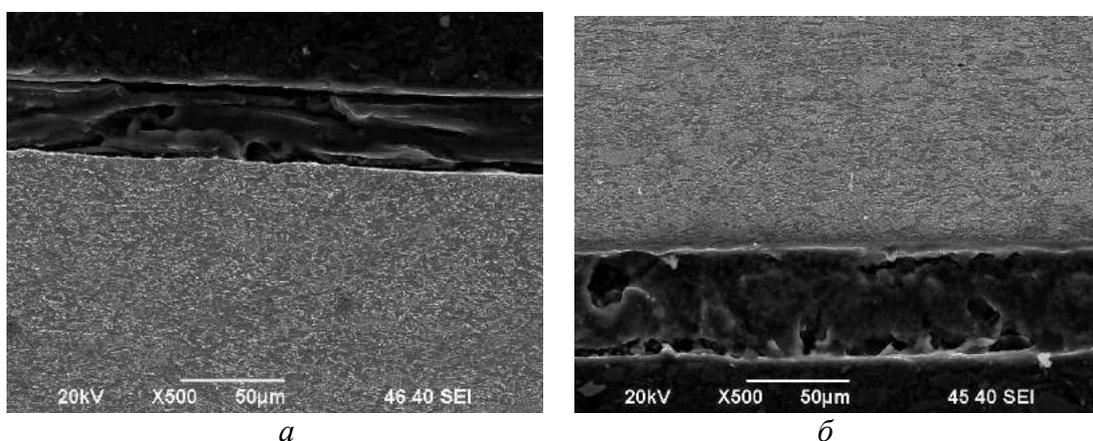


Рис. 2. Поверхность лент с нанесенным лакокрасочным покрытием фирмы SPECTA (а), ОАО «ММК-МЕТИЗ» (б) (полоса посередине – лакокрасочное покрытие; светлая часть - сталь)

В настоящее время разработано техническое соглашение ТС 00187240-032-2013 для производства высокопрочной стальной упаковочной ленты, используемой непосредственно

в цехах ОАО «ММК-МЕТИЗ» (СПЦ, СКЦ) (рис. 3). Также лента, произведенная по данному техническому соглашению, будет поставляться на ОАО «Металлургический завод им. А.К. Серова», г. Серов; ОАО «Выксунский металлургический завод», г. Выкса; ООО «Нижегородский металлургический завод», г. Нижний Новгород.

Продукция, произведенная по данному ТС, обладает следующими физико-механическими свойствами:

– временное сопротивление разрыву, σ_b - 700-940 Н/мм²;

– относительное удлинение, δ_4 не менее 5%.

Для усовершенствования технологического процесса разработан ряд решений:

1. Ускорение процесса сушки эмали с помощью нагрева лакокрасочного материала.

Для определения возможности ускорения сушки лакокрасочного покрытия путем нагрева лакокрасочного материала был проведен эксперимент.

В данном эксперименте исследовалась расслаиваемость эмали при нагревании.

В соответствии с ТУ 2312-198-21743165-2009 температура вспышки эмали составляет 63 °С, значит, нагревание свыше данной температуры небезопасно. Рекомендовано нагревать эмаль до 40 °С. Для эксперимента была отобрана эмаль в объеме 250 мл и помещена в сушильный шкаф при температуре 40 °С, время выдержки - 1 час. В прошествии данного промежутка времени в колбе с эмалью наблюдалось ее расслоение, но при перемешивании эмаль приобрела свою первоначальную консистенцию.



Рис. 3. Стопа готовой продукции

Вывод: нагревание будет производиться с помощью трубчатого электронагревателя до 40 °С. Во избежание расслоения эмали решено применять барботирование.

Данный проект находится на стадии разработки.

2. Ускорение процесса сушки эмали добавлением ускорителя сушки.

Для ускорения процесса сушки предлагается использовать ускорители сушки. Ускоритель сушки добавляется непосредственно в эмаль в определенном соотношении.

Данный проект находится на стадии разработки.

3. Ускорение процесса сушки эмали с помощью дополнительного нагрева лент.

Подогрев лент планируется осуществлять с помощью горячей воды. Лента, проходя через ванну с горячей водой, нагревается и поступает в резервуар с лакокрасочным материалом.

4. Аспирация (обеспыливающая вентиляция) технологического оборудования и рабочей зоны.

Для устранения пылевыведений и паров растворителя необходимо использовать системы аспирации с разветвленной сетью воздухопроводов и газоочистным оборудованием.

Аспирация позволит добиться уменьшения количества пыли, оседающей на ленте, на оборудовании, а также обеспечит более безопасные условия труда.

Производство высокопрочной упаковочной ленты с лакокрасочным покрытием позволило расширить сортамент производимой продукции и найти новые рынки сбыта. Работа в данном направлении продолжается.

Список литературы

1. Metallurgy qualimetry theory design and development / 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.

2. Веденов Г.Н., Гисин П.Г. Окраска металлических поверхностей. Общемашиностроительные типовые и руководящие материалы в области технологии и организации производства, ОМТРМ 7312-010–78. М.: Химия, 1978. 368 с., 75 табл., 90 рис.

3. Искра Е.В. Окрасочные работы в машиностроении. Машиностроение, Ленингр. отделение, 1984. 256 с.

4. Кривошапов В.В., Пудов Е.А. Перспективные технологические процессы производства метизов. Челябинск: Металл, 1992. 112 с.

5. Пудов Е.А., Абулбарова Р.Г. Исследование защитной способности покрытий холоднокатаной ленты для изготовления автомобильных радиаторов: сб. науч. тр. / Под ред. к.т.н. В.В. Кривошапова. Магнитогорск: ПММ «МиниТип», 1996. С. 51-54.

6. Рейбман А.И. Защитные лакокрасочные покрытия. Л.: Химия, 1982. 320 с., ил.

7. Яковлев А.Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий: учеб. пособие для вузов. Л.: Химия, 1981. 352 с., ил.

References

1. Metallurgy qualimetry theory design and development / 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.

2. Vedenov G.N., Gisin P.G. Colouring of metal surfaces (General engineering standard and guiding materials in the field of technology and organization of production, GESGM 7312-010 – 78 // M.: Chemistry, 1978. 368 pages, 75 tables, 90 figures.

3. Iskra E.V. Painting in engineering // Engineering. Leningrad division. 1984. 256 pages.

4. Krivoshchapov V.V, Pudov E.A. Promising technological processes of production of metalware. Chelyabinsk: Metal, 1992. 112 p.

5. Pudov E.A., Abulbarova R.G. Study of protective capability of the cold-rolled strip coatings for manufacture of the automotive type radiators. In the collection of treatises of/under the editorship of the PhD in Technical Sciences V.V. Krivoshchapov. Magnitogorsk: Municipal printery «MiniType», 1996, pp. 51-54.

6. Reybman A.I. Protective lacquer coatings. Leningrad: Chemistry, 1982. 320 pages, illustrated.

7. Yakovlev A.D. Chemistry and technology of lacquer coatings: textbook for high schools // Leningrad: Chemistry, 1981. 352 pages, illustrated.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВУЮЩИХ РИХТУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТАЛЬНЫХ КАНАТОВ

Харитонов В.А., Иванцов А.Б.

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

Для повышения долговечности и надежности канатов необходимо учитывать факторы конструктивного, технологического и эксплуатационного характера, среди которых существенными, определяющими долговечность стального каната, являются технологические напряжения в его элементах [1].

В процессе свивки элементы каната испытывают глубокую упругопластическую деформацию, что вызывает в поперечном сечении проволок нормальные напряжения от изгиба и растяжения, а также касательные напряжения кручения.

Свивочные напряжения оказывают огромное влияние на долговечность канатов, резко повышая чувствительность проволок к поверхностным дефектам (царапины, вмятины) [2]. Обусловленные свивочными напряжениями моменты упругой отдачи раскручивают канат, нарушая его конструкционную плотность. Поэтому совершенствование методов нейтрализации свивочных напряжений является актуальной задачей канатного производства.

Канат в процессе его изготовления подвергают рихтовке, т.е. пропускают через систему роликов. В результате происходит перераспределение свивочных напряжений и уплотнение структуры каната.

Согласно В.Н. Чаругину [3], канат при рихтовке поворачивается вокруг своей оси настолько, что определяет достаточность проведения процесса рихтовки в одной плоскости, хотя в производстве наибольшее применение находит двухплоскостная рихтовка.

С целью подбора на действующем оборудовании условий рихтовки, соответствующих наиболее эффективной проработке каната по его окружности, был проанализирован процесс рихтовки канатов, производимый в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Нами опытным путем было установлено, что действующий метод рихтовки (две взаимно перпендикулярные рихтовки с пятью или семью роликами в каждой плоскости) в большинстве случаев не дает полной проработки каната по его окружности. В данной работе предложено поворачивать вторую плоскость действующей рихтовки на определенный угол, с целью достижения проработки каната по всей окружности.

Вторым, не менее важным вопросом является эффективность проработки каната вглубь по сечению, где критерием достижения эффективной проработки определим как интенсивное понижение прироста поворота каната при увеличении заглубления роликов.

Таким образом, цель работы определим, как получение рациональных технологических параметров процесса рихтовки канатов из условия минимизации свивочных напряжений.

Проволоки до рихтовки в канате находятся под воздействием упругой деформации. Момент кручения проволоки в канате до рихтовки направлен в сторону раскручивания, так как по С.И. Губкину силы, обусловленные остаточными напряжениями в теле, направлены противоположно направлению полученной деформации. При рихтовке эти напряжения частично снимаются из-за знакопеременной пластической деформации, что определяет некоторое закручивание каната в направлении свивки.

Для эксперимента были выбраны: канат правой крестовой свивки, изготавливаемый по ГОСТ 16853-88 «Канаты стальные талевые для эксплуатационного и глубокого разведочного бурения» (фактический диаметр 26,8 и 26,3 мм); канат правой крестовой свивки, изготавливаемый по ГОСТ 2688-80 «Канаты стальные» (фактический диаметр 33,9 и 31,75 мм (табл. 1). Тип рихтователя: двухплоскостной десятироликовый (5x5), внутренний диаметр

ролика – 95 мм, ролики выполнены из термообработанной инструментальной стали с поверхностной твердостью 55 HRC, шаг между роликами - 250 мм.

В процессе эксперимента производился замер поворота метки на канате при прохождении им рихтующего устройства.

Таблица 1

Условия экспериментов

ГОСТ на канат	Фактический диаметр каната, мм	Тип рихтователя (десятироликовый)	Заглубление ролика, мм
16853-88	26,8	5×5	160
16853-88	26,3	5×5	175
2688-80	33,9	3×3	157
2688-80	31,8	5×5	168

В качестве примера рассмотрим канат, изготавливаемый по ГОСТ 16853-88 с фактическим диаметром 26,8 мм. Эксперимент показал, что канат несколько поворачивается уже перед первым роликом, дальнейший поворот происходил по всей длине роликового устройства (рис. 1), при условии одинакового заглубления роликов в 160 мм (см. табл. 1). Суммарный поворот после десятого ролика рихтовального оборудования составил 138°. Доля поворота каната в первой плоскости составила 60 % от суммарной, во второй плоскости - 40 % (см. рис. 1). Для других диаметров канатов отношение поворота в обеих плоскостях было близким к данной пропорции (рис. 2). Снижение прироста угла во второй рихтовке свидетельствует о постепенном снижении напряжений в канате.

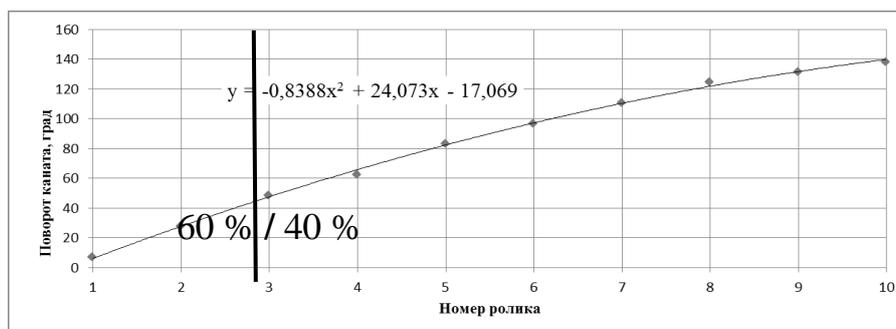


Рис. 1. Углы поворота в десятироликовом рихтователе каната диаметром 26,8 мм

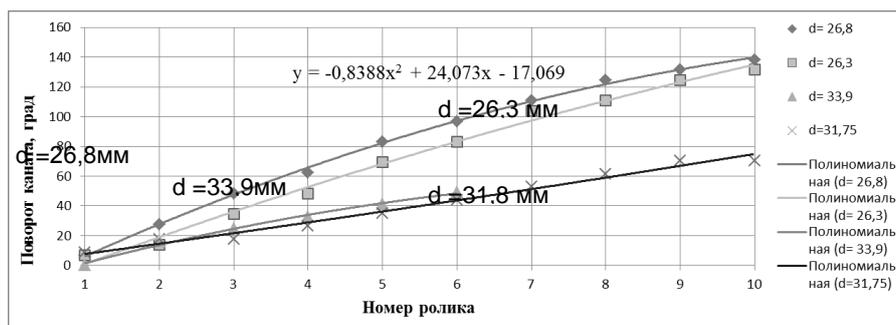


Рис. 2. Углы поворота в рихтователе канатов диаметрами 26,8; 26,3; 33,9; 31,8 мм

По данным В.Н. Чаругина [3] при наличии остаточных свивочных напряжений происходит поворот каната в направлении свивки на величину от 20 до 140°. Поворот будет определяться, в т.ч. и степенью заглубления ролика. В результате анализа экспериментальных данных В.Н. Чаругина выяснено, что при малом заглублении канат практически не поворачивается, но при заглубления более $f = 0,3d_{\text{каната}}$ происходит резкое увеличение интенсивности поворота. Малые углы поворота определяют соответствующее малое снижение напряжения. Из этого следует, что при малых заглублениях канат не прорабатывается, рихтовка не эффективна.

Здесь отметим, что максимальные углы поворота в одностипной рихтовке имеются у некоторого среднего диаметра каната (рис. 3), поэтому степень заглубления роликов не является однозначно определяющим процесс рихтовки фактором. При уменьшении диаметра каната от оптимального значения достаточно интенсивного поворота каната в роликах, определяющего эффективную проработку, не происходит. При повышении диаметра каната от оптимального значения также происходит не менее значительное снижение величины поворота в роликах, обусловленное, по-видимому, затруднением вращения каната из-за его габаритов, определяющих повышение давления на ролики и др. Это обуславливает необходимость поиска эффективных диапазонов настроек каждого типа рихтовки в соответствии с диаметром каната.

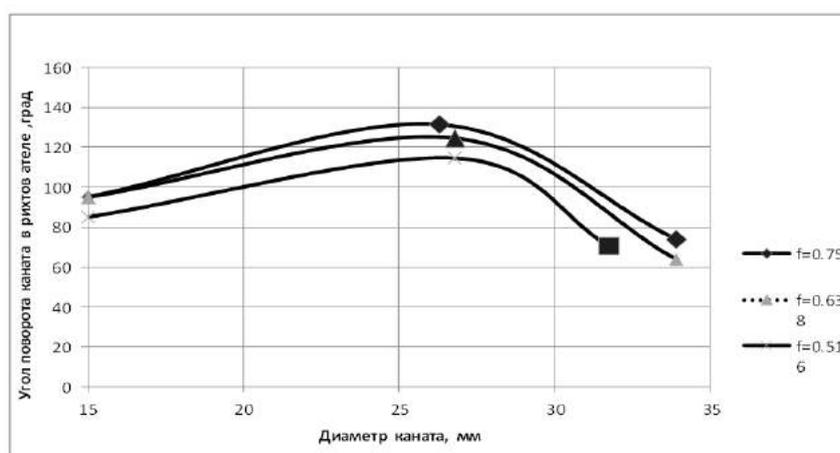


Рис. 3. Углы поворота в функции относительного изгиба каната в десятироликовом рихтователе по данным эксперимента

Проведенный эксперимент показал, что при глубоких прогибах каната $f > 0,5d_{\text{каната}}$ (при условии оптимального для рихтовки диаметра каната) схема рихтовки каната в одной плоскости по В. Н. Чаругину дает большую окружную проработку, чем более распространенная двухплоскостная схема рихтовки. Средние прогибы каната ($0,3d_{\text{каната}} < f < 0,5d_{\text{каната}}$) для обеих схем не эффективны. Нами было установлено, что для достижения полной окружной проработки каната (рассматриваемые в эксперименте рихтовки являются удовлетворительно эффективными для данных канатов) необходимо произвести поворот второй плоскости рихтовки по отношению к первой (см. табл. 1, $f = (0,5-0,7)d_{\text{каната}}$) против часовой стрелки на расчетный угол (табл. 2).

Проведенное исследование показало определенную возможность повышения эффективности существующих рихтователей путем определения диапазона обрабатываемых диаметров канатов и регулировки угла поворота второй плоскости рихтовки.

Угол поворота плоскости рихтовки

Диаметр каната, мм	Угол поворота каната в эксперименте, град	Угол поворота каната, условно по одноплоскостной схеме В. Н. Чаругина, град	Рекомендуемый угол поворота второй плоскости рихтовки, град
26,3	132	14	-76
26,8	138	15	-75
31,8	70	52	-38
33,9	50	62	-28

Список литературы

1. Бреславцева И.В. Современное состояние вопроса изучения напряженно-деформированного состояния проволок каната // Материалы 49-й науч.-практ. конф. преп., студ. и аспирантов ШИ ЮРГУ, 2000. С. 23-32.
2. Сергеев С.Т. Стальные канаты. Изд.-во «Техника», Киев. 1974. 358 с.
3. Мольнар В.Г., Владимиров Ю.В. Технологические основы производства стальных канатов. М.: Металлургия, 1975. 200 с.

References

1. Breslavtseva I.V. Modern condition of studying stress-strain state of rope wire // Proceedings of the 49th scientific-practical conference prep., stud. and postgraduates. SHI YURGA, 2000. pp. 23-32.
2. Sergeev S.T. The ropes // Kiev: Tekhnika, 1974. 358 pp.
3. Molnar V.G., Vladimirov J.V. Technological principles production of steel ropes. Moscow: Metallurgy, 1975. 200 pp.

УДК 621.771

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ
ПРИ ЗАКАЛКЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ИНВАРНЫХ СПЛАВОВ
С НИЗКИМ ТЕМПЕРАТУРНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ
ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ**

**Копцева Н.В., Чукин Д.М., Никитенко О.А.,
Ефимова Ю.Ю., Голубчик Э.М., Ильина Н.Н.**
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет
им Г.И. Носова»

Современный мировой опыт развития техники и технологий показывает, что одним из приоритетных направлений в настоящее время является разработка и внедрение новых материалов, в том числе, высокопрочных сплавов, обладающих комплексом уникальных физико-химических и механических свойств. В ряде случаев необходимо обеспечить высокую стабильность геометрических форм и размеров отдельных частей или всего изделия при изменении окружающей температуры. Для этой цели обычно используют специальные железоникелевые сплавы – инвары. Учеными ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный

технический университет им. Г.И. Носова» совместно со специалистами ОАО «Мотовилихинские заводы» (Пермь) реализуется проект по созданию мини-завода по производству заготовок из инновационных высокопрочных сплавов инварного класса, дополнительно легированных углеродом, кобальтом, ванадием и молибденом [1-2]. Основным свойством инварных сплавов является низкая величина температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР). Однако известные инварные сплавы имеют неудовлетворительные дополнительные свойства: прочность, твердость [3]. Поэтому, в первую очередь, важно повысить прочность инварных сплавов, что позволит использовать их в высоконагруженных конструкциях. В связи с этим были созданы новые типы инварных сплавов на основе системы Fe-Ni-C с дополнительным легированием карбидообразующими элементами.

Следует отметить, что формирование конечных свойств изделий из исследуемых инварных сплавов в значительной степени определяется режимами термической обработки в процессе их изготовления, включая закалку от высоких температур [4-5].

Целью работы является изучение особенностей структуры полученной в результате закалки высокопрочных сплавов инварного класса системы Fe-Ni-C.

В качестве основы приняты Fe-Ni композиции традиционных составов с легированием углеродом, кобальтом, молибденом и ванадием для дополнительного упрочнения [6-8]. Химический состав исследуемых сплавов представлен в **таблице**.

Исследуемые сплавы были подвергнуты закалке от 1200 °С в воде, чтобы обеспечить максимальное насыщение твердого раствора углеродом и легирующими элементами.

Для достижения поставленной цели был проведен комплекс электронно-микроскопических исследований, а также микрорентгеноспектральный анализ образцов после закалки. Для микроанализа из образцов по стандартной методике были приготовлены поперечные и продольные микрошлифы. Приготовление шлифов проводилось с использованием запрессовки образцов в смолу «Transoptic» на автоматическом прессе Simplimet 1000 на линии пробоподготовки фирмы Buechler. Для выявления микроструктуры поверхность шлифов подвергалась травлению в 4 %-ном растворе азотной кислоты в этиловом спирте методом погружения полированной поверхности в ванну с реактивом [9-10].

Химический состав исследуемых сплавов на основе системы Fe-Ni-C

Маркировка сплава	Массовая доля элементов, %						Доля включений, %	
	Fe	Ni	Co	V	C	Mo	До закалки	После закалки
30НУК	ост.	30,5	5,0	-	0,6	-	1,01	0,88
32НУФК	ост.	32,1	4,5	1,2	0,5	-	2,23	1,55
32НУМ	ост.	33,2	-	-	0,60	3,40	2,16	1,08
34НУФМ	ост.	34,7	-	1,0	0,40	2,30	1,56	1,2

Для выявления качественных и количественных структурных особенностей поверхность микрошлифов была исследована на оптическом микроскопе Meiji Techno при увеличениях от 50 до 1000 крат с использованием системы компьютерного анализа изображений Thixomet PRO. Изображение микроструктуры с помощью цифровой камеры вводи-

лось в компьютер и затем анализировалось с применением специализированных программ. При этом использовались методики, адаптированные в соответствии с требованиями ГОСТ 5639-82.

Микроструктура при увеличениях более 1000 крат исследовалась методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) во вторичных и упруго отраженных электронах с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM 6490 LV. Микрорентгеноспектральный анализ (МРСА) проводился с использованием специальной приставки к сканирующему микроскопу – системы INCA Energy.

Микротвердость оценивалась методом вдавливания алмазной пирамиды на твердомере Buehler Micromet в соответствии с ГОСТ 9475-76.

На нетравленных шлифах были обнаружены многочисленные неметаллические включения, относительная объемная доля которых приведена в **таблице**. Анализ полученных результатов свидетельствует об уменьшении количества включений после закалки по сравнению с исходным состоянием перед термической обработкой. Таким образом, при нагреве под закалку обеспечивается растворение части включений.

Результаты световой микроскопии показали, что микроструктура всех исследованных сплавов представляет собой гетерогенную систему, состоящую из зерен различного размера и частиц второй фазы (**рис. 1**). При этом были обнаружены следующие различия в микроструктуре закаленных сплавов.

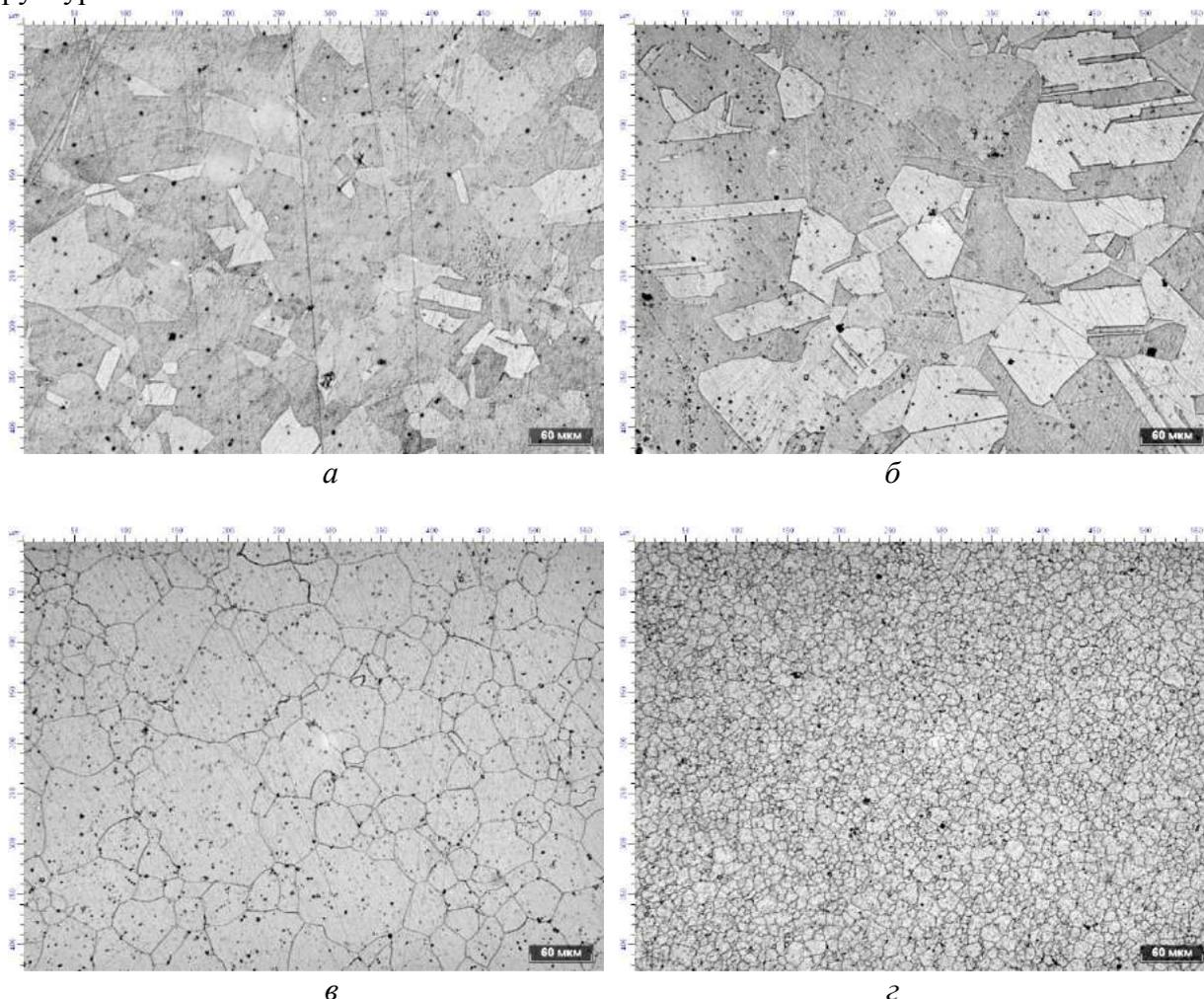


Рис. 1. Общий вид микроструктуры сплавов 30НУК (а), 32 НУФК (б), 32НУМ (в) и 34НУФМ (г) после закалки от 1200 °С в воде, х 200

В сплавах 30НУК и 32НУФК, легированных кобальтом, имеющих при температуре выше 427 °С ГЦК решетку, а ниже этой температуры – ГПУ решетку, в зернах γ -твердого раствора отчетливо наблюдаются двойники (см. **рис. 1 а, б**), при этом величина зерна составляет до 400-900 мкм в поперечнике, что соответствует номеру зерна № 4-6.

В сплавах, легированных молибденом, имеющих ОЦК решетку, двойники в структуре γ -твердого раствора не обнаруживаются (см. **рис. 1 в, г**), причем величина зерна существенно меньше, чем в сплавах, легированных кобальтом, и составляет в сплаве 32НУМ от 310 до 600 мкм (зерно от № 5 до № 7, а в сплаве 34НУФМ – около 8 мкм (зерно № 11).

Для сплавов 30НУК, 32НУФК и 32НУМ характерна разнотернистость.

Типичная микроструктура закаленных сплавов, наблюдаемая при исследовании методом РЭМ, приведена на **рис. 2**. Для идентификации химических элементов, входящих в состав структурных составляющих сплавов был проведен МРСА, результаты которого иллюстрирует **рис. 3**.

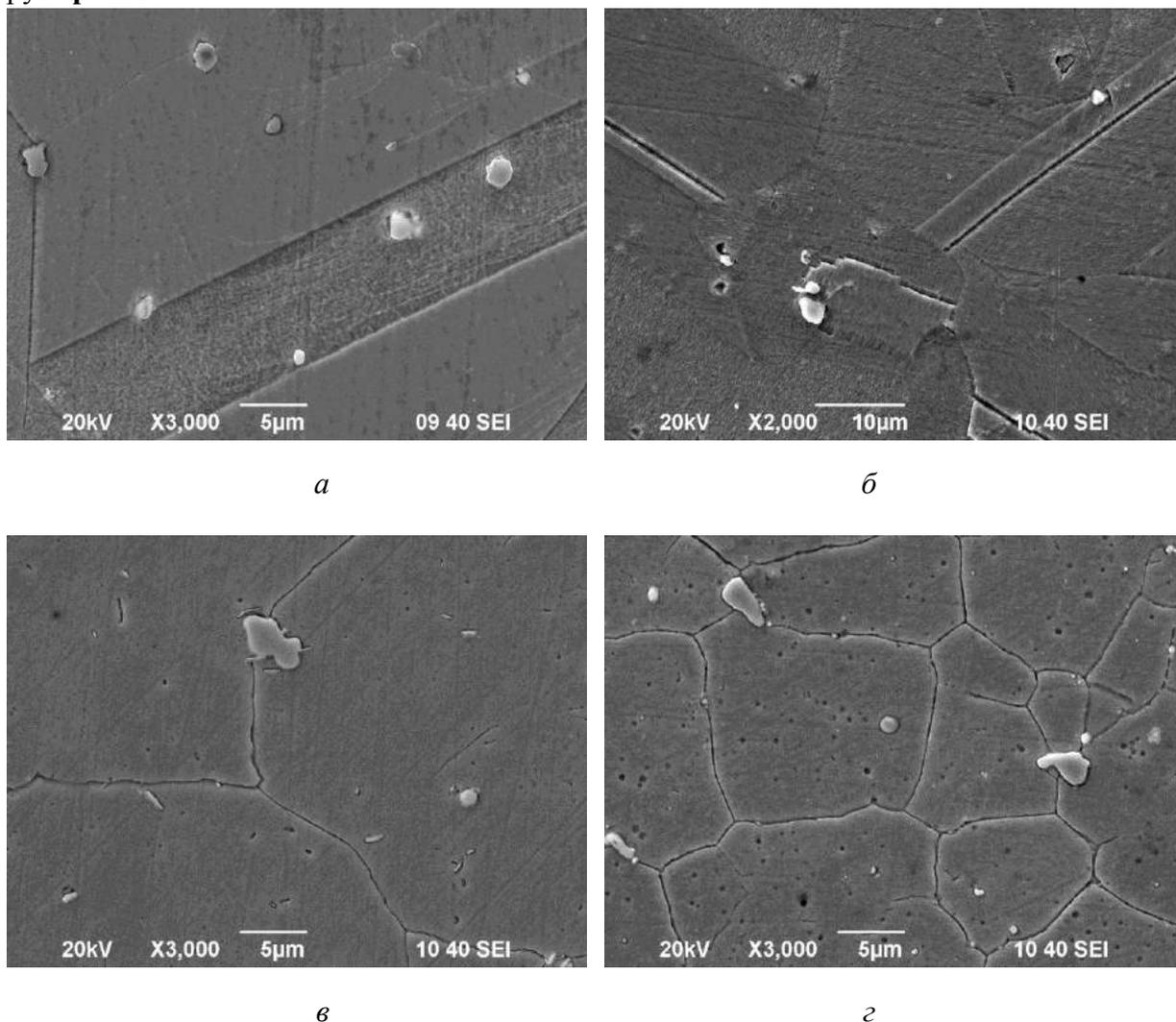


Рис. 2. Микроструктура сплавов 30НУК и 32НУФК (а), 32НУМ и 34НУФМ(б) после закалки от 1200 °С в воде

Карты распределения химических элементов подтвердили, что в частицах второй фазы сосредоточены карбидообразующие элементы V, Mo, Ti и C и практически не обнаруживаются Fe, Ni, Co (см. **рис. 3**). Таким образом, основываясь на результатах микрорентгеноспектрального анализа, частицы второй фазы, наблюдаемые в структуре исследуемого сплава, можно идентифицировать как карбиды легирующих элементов. В исследуемых системах, по

мнению большинства исследователей, наблюдается карбид состава MC с кубической решеткой. В данном случае – это карбиды TiC, MoC, а также комплексные карбиды (V, Ti)C, (Mo, V)C, (Mo, Ti)C, (Mo, V, Ti)C. Наличие карбидов титана объясняется тем, что титан используется в составе раскислителя и, будучи самым сильным карбидообразующим элементов из указанных элементов, связывает углерод в стойкие карбиды. Можно утверждать, что при нагреве под закалку обеспечивается растворение части включений карбидных фаз для насыщения твердого раствора углеродом и легирующими элементами.

Самое большое количество карбидов в структуре не растворившихся при нагреве под закалку наблюдается в сплаве 34НУФМ, легированном одновременно Mo и V. Карбиды сдерживают рост зерна при нагреве под закалку, в результате чего зерно в этом сплаве получилось самым мелким (см. **рис. 1**).

Таким образом, закалка от 1200 °С в воде зафиксировала γ -твердый раствор во всех сплавах. При этом часть карбидов, в первую очередь – более дисперсных растворяется. Оставшиеся нерастворенные карбидные частицы сдерживают рост зерна при нагреве под закалку, особенно – в сплаве 34НУФМ, легированных одновременно несколькими сильными карбидообразующими элементами: Mo и V.

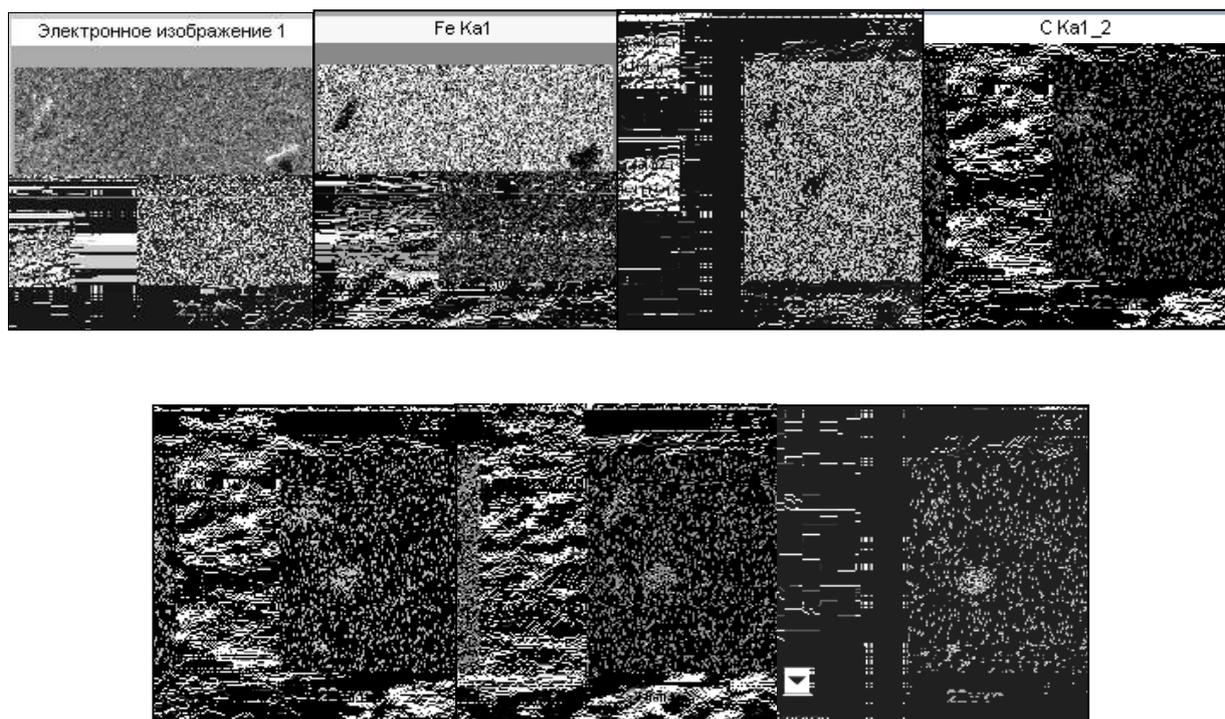


Рис. 3. Электронное изображение микроструктуры сплава 32НУФМ после закалки от 1200 °С в воде и картины распределения Fe, Ni, C, V, Mo и Ti

Список литературы

1. Освоение новых технологий производства 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. С. 47-52.

2. Исследование режимов термической обработки при производстве высокопрочных инварных сплавов нового поколения / М.В. Чукин, Н.В. Копцева, Э.М. Голубчик, Д.М. Чукин, Е.М. Медведева // *Металлург*. 2014. № 4. С. 97-102.

3. Захаров А.И. Физика прецизионных сплавов с особыми тепловыми свойствами. М.: Металлургия, 1986. 97 с.
4. Разработка композиций многофункциональных сплавов инварного класса с расширенными эксплуатационными характеристиками / М.В. Чукин, Э.М. Голубчик, А.С. Кузнецова, Ю.Л. Родионов, И.А. Кормс, Н.Ю. Бухвалов А.В, Касаткин. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им Г.И. Носова 2013. № 3. С. 56 – 60.
5. Шамилов Т.Г. Разработка новых типов высокопрочных инварных сплавов системы Fe-Ni-C: дис. ... канд.техн. наук. М., 1991.
6. Патент 2446027, РФ. МПК В21С 1/00, В21J 5/06, С21D 7/00.
7. Патент 2154692, РФ. МПК С22С30/00, С22С38/14, С22С19/03.
8. Копцева Н.В., Голубчик Э.М., Ефимова Ю.Ю., Чукин Д.М., Медведева Е.М., Родионов Ю.Л., Кормс И.А. Особенности формирования комплекса физико-механических в высокопрочных инварных сплавах // Сталь. 2014. № 2(986). С. 97-99.
9. Исследование формирования субмикроструктурной структуры поверхностного слоя стальной проволоки с целью повышения уровня ее механических свойств / Г.С. Гун, М.В. Чукин М.В., 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.
10. Особенности реологических свойств конструкционных наносталей / М.В. Чукин, Г.С. Гун, М.П. Барышников, Р.З. Валиев, Г.И. Рааб // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2008. № 1 (21). С. 24-27.

References

1. Development of new production technologies Invar alloys multi class with improved performance properties / V.M. Kolokoltsev, M.V. Chukin, E.M. Golubchik, J.L. Rodionov, N.Yu. Buhvalov // Metallurgical processes and equipment. 2013. № 3. Pp. 47-52.
2. Investigation of heat treatment in the production of high alloy Invar new generation / M. V. Chukin, N.V. Koptseva, E.M. Golubchik, D.M. Chukin, E.M. Medvedeva // Metallurg. 2014. № 4. Pp. 97-102.
3. Zakharov A.I. Physics of Precision Alloys with special thermal properties. Moscow: Metallurgy, 1986. 97 p.
4. Development of Invar alloy compositions multi class with enhanced performance / M.V. Chukin, E.M. Golubchik, A.S. Kuznetsova, J.L. Rodionov, I.A. Korms, N.Yu. Buhvalov, A.V. Kasatkin. // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2013. № 3. Pp. 56 - 60.
5. Shamilov T.G. Development of new types of high-Invar alloys Fe Ni C: Dis. ... Kand.tehn. Sciences. M., 1991.
6. Patent 2,446,027, Russia. IPC V21S 1/00, V21J 5/06, C21D 7/00.
7. Patent 2,154,692, Russia. IPC C22C30/00, C22C38/14, C22C19/03.
8. Koptseva N.V., Golubchik E.M., Efimova Yu.Yu., Chukin D.M., E.M. Medvedeva, Rodionov Y.L., Korms I.A. Features of the complex formation in high physico-mechanical Invar alloys // Steel. 2014. № 2 (986). Pp. 97-99.
9. Investigation of forming the carbon wire surface layer submicrostructure for enhancing its mechanical properties / G.S. Gun, M.V. Chukin, D.G. Emaleyeva, N.V. Koptseva, Yu.Yu. Efimova, M.P. Baryshnikov // Vestnik of Nosov Magnitogorsk state technical university. 2007. № 3 (19). Pp. 84-86.
10. Peculiarities of construction steels reological properties / M.V. Chukin, G.S. Gun, M.P. Baryshnikov, R.Z. Valiev, G.I. Raab // Vestnik of Nosov Magnitogorsk state technical university. 2008. № 1 (21). Pp. 24 – 27.

ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА АРМАТУРНОЙ ПРОВОЛОКИ ВР-1 НЕСТАНДАРТНЫХ РАЗМЕРОВ

Гулий М.Ф., Юркова Е.В.

ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ», г. Магнитогорск

В настоящее время строительство является одной из основных отраслей - потребителей метизной продукции. Сейчас велики темпы монолитного домостроения и гражданского строительства, что предполагает развитие рынков сбыта основных (ЖБК, арматурный прокат, проволока) и сопутствующих строительных материалов (сетка, каркасы, хомуты, закладные детали) [1].

Ни одно современное строительство не обходится без бетона, а для придания бетонным конструкциям дополнительной прочности производится их армирование. В качестве армирующего материала применяются металлические стержни - арматура. Результат применения армирования – повышение прочностных характеристик бетонных конструкций в несколько раз.

Арматура в железобетонных конструкциях устанавливается преимущественно для восприятия растягивающих усилий и усиления бетона сжатых зон конструкций. Рабочую и монтажную арматуру объединяют в арматурные изделия — сварные и вязаные сетки и каркасы, которые размещают в железобетонных элементах в соответствии с характером их работы под нагрузкой [2].

В качестве не напрягаемой арматуры предпочтение отдают холодноотянутой низкоуглеродистой арматурной проволоке Вр-1, из которой изготавливают сварные сетки и каркасы для армирования железобетонных, каменных и кирпичных конструкций, армирования фундаментов, перекрытий.

Арматурную проволоку в зависимости от механических свойств подразделяют на обыкновенную и высокопрочную, а по форме поверхности - В-1 - гладкая; Вр-1 - периодического профиля. Периодический профиль обозначается дополнительным индексом «р».

Основная механическая характеристика проволочной арматуры - ее временное сопротивление, которое возрастает с уменьшением диаметра проволоки.

Обыкновенную арматурную проволоку по ГОСТ 6727-80 (**рис. 1**) изготавливают из низкоуглеродистой стали. Проволока хорошо сваривается, что позволяет использовать ее в составе арматурных изделий - сварных кладочных сеток.

Доля арматурной проволоки периодического профиля на российском рынке металлопродукции очень высока. Большой спрос на данную продукцию рождает высокое предложение, поэтому конкурентная база стремительно пополняется новыми производителями и поставщиками. Чтобы сохранить объемы продаж и существующие рынки сбыта, ОАО «ММК-МЕТИЗ» поддерживает политику в области качества и успешно выполняет поставленные цели и задачи.

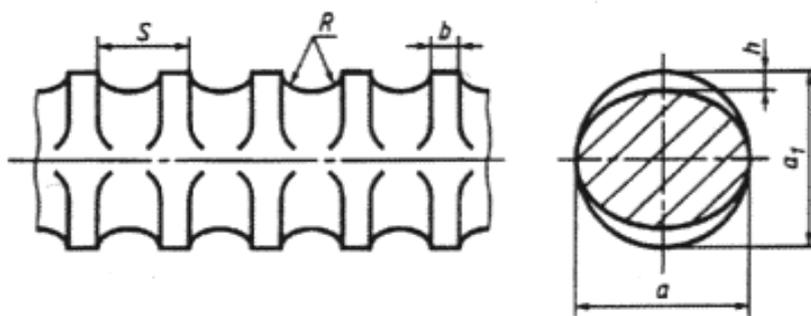


Рис. 1. Проволока Вр-1:
 a - a_1 ; b – ширина выступа; h – высота выступа;
 R – радиус вмятины; s – шаг вмятин

Основными стратегическими целями завода являются:

- актуальность и современность продукции;
- повышение степени удовлетворенности потребителей;
- освоение новых и развитие существующих рынков сбыта;
- повышение качества продукции;
- рациональное использование производственных ресурсов;
- повышение эффективности производства;
- снижение производственных затрат.

В условиях жесткой конкуренции с целью сохранения и расширения рынков сбыта, а также удовлетворения требований потребителя, перед ОАО «ММК-МЕТИЗ» остро стоит вопрос о необходимости расширения сортамента изготавливаемой продукции.

Поскольку ГОСТ 6727-80 на арматурную проволоку Вр-1 устанавливает только три размера проволоки $\varnothing 3$; 4; 5 мм, среди потребителей и производителей сеток возник большой спрос на промежуточные размеры арматуры: $\varnothing 2,2$; $\square 2,5$; $\square 2,7$; $\square 2,8$; $\square 3,5$; $\square 3,7$; 3,8; 4,5; $\square 4,7$; $\square 4,8$; $\square 6,0$ мм.

Арматурная проволока изготавливается способом холодного волочения. Проходя через волочильный инструмент, проволока принимает форму и размеры его внутреннего канала с поперечным сечением меньше сечения заготовки.

Проходя через следующие специальные ролики, на проволоку наносятся насечки (рифление) (рис. 2).

Анализ технологии производства проволоки класса Вр-1 показывает, что улучшения в качестве арматурной проволоки должны коснуться, в первую очередь, периодического профиля, его конфигурации, параметров, а также технологии изготовления профилирующих роликов [1].

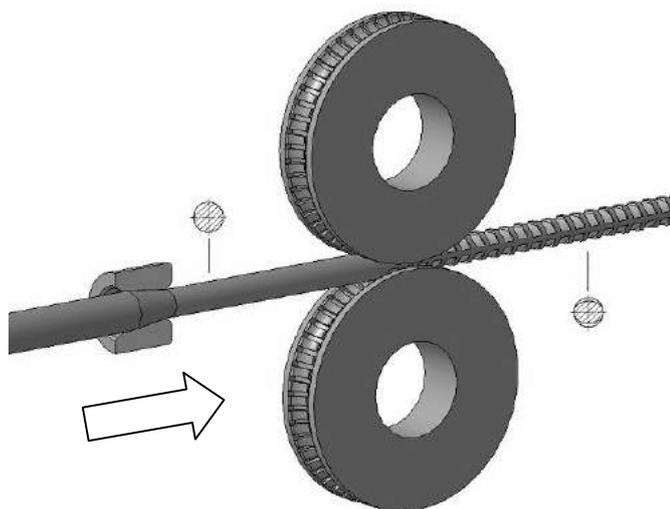


Рис. 2. Схема процесса изготовления проволоки периодического профиля

Гладкая проволока не обладает достаточным сцеплением с бетоном. Наиболее эффективным и простым способом повышения сцепления металлического стержня с бетонным материалом является ее профилирование через придание поверхности проволоки периодической формы.

Вне зависимости от вида профиля, основными показателями качества арматурной проволоки являются:

- высокие прочностные и пластические характеристики;
- свариваемость, определяемая химическим составом стали;
- уровень сцепления арматурной проволоки с бетоном - критерий анкеровки, определяемый точностью изготовления геометрических параметров профиля, вне зависимости от его вида. Армирующая способность рифленой поверхности проволоки, в первую очередь, зависит от высоты поперечных ребер рифления, ширины продольных ребер и шага рифления, количества ребер [1]. Точность соблюдения этих параметров имеет важное значение для получения качественной продукции, отвечающей всем требованиям стандарта.

Инструментом, придающим арматурной проволоке периодический профиль, являются профилирующие ролики. В клети два таких ролика устанавливаются с противоположных сторон.

Правильный расчет и проектирование геометрии инструмента оказывают непосредственное влияние на геометрические параметры готового изделия.

При проектировании технологического инструмента для проволоки периодического профиля на каждый диаметр проволоки изготавливается отдельный комплект чертежей, соответственно изготавливается индивидуальный комплект инструмента.

В результате проведенной работы получили комплект чертежей инструмента для изготовления арматурной проволоки периодического профиля Вр-1 нестандартных размеров $\varnothing 2,2 \dots 6,0$ мм (рис. 3, а). Были изготовлены опытные партии рабочего инструмента, вспомогательного инструмента и продукции. Потребителей полностью удовлетворила поставленная проволока по геометрическим, механическим и эксплуатационным свойствам.

Также было учтено дополнительно требование потребителя - необходимость исключить обрывность проволоки. Потребитель обосновал это тем, что в процессе эксплуатации при размотке проволоки с прямоугольной формой выступов происходят задиры, ребра выступов цепляются друг за друга и, как следствие, происходит обрыв арматуры. Для решения этой проблемы в конструкцию профилирующего ролика внесено изменение: форму выступов было решено сделать конической (рис. 3, б).

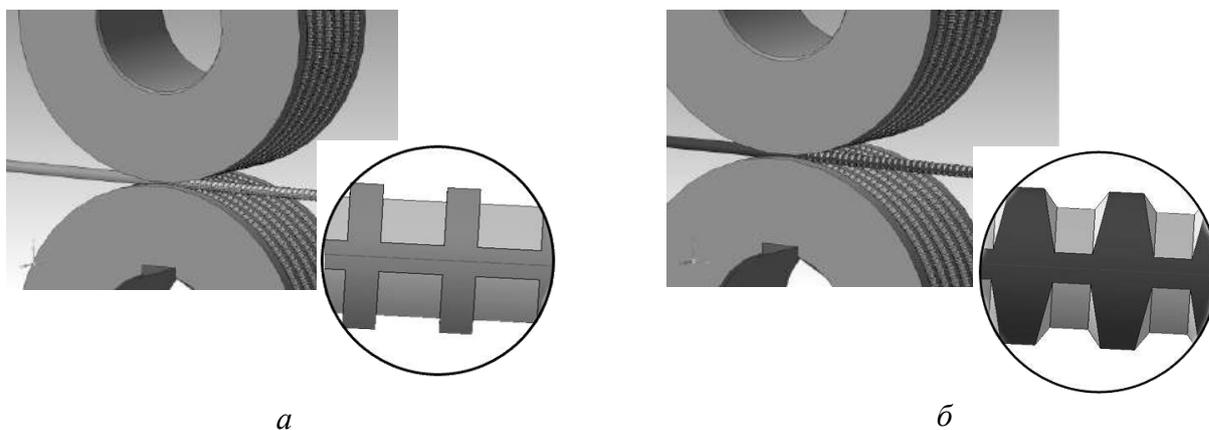


Рис. 3. Ролики профилирующие для операции выдавливания выступов прямой (а) и конической (б) формы

Точность изготовления рабочего профиля ролика определяется точностью изготовления пуансона для нанесения насечки на профилирующем ролике. Поэтому был проведен расчет геометрических параметров пуансонов для изготовления насечки на профилирующих роликах (рис. 4). Выступ заданной формы на пуансоне выдавливает соответствующее по форме углубление на ролике.

Также были рассчитаны геометрические параметры пуансонов для изготовления насечки на профилирующих роликах (см. рис. 4).

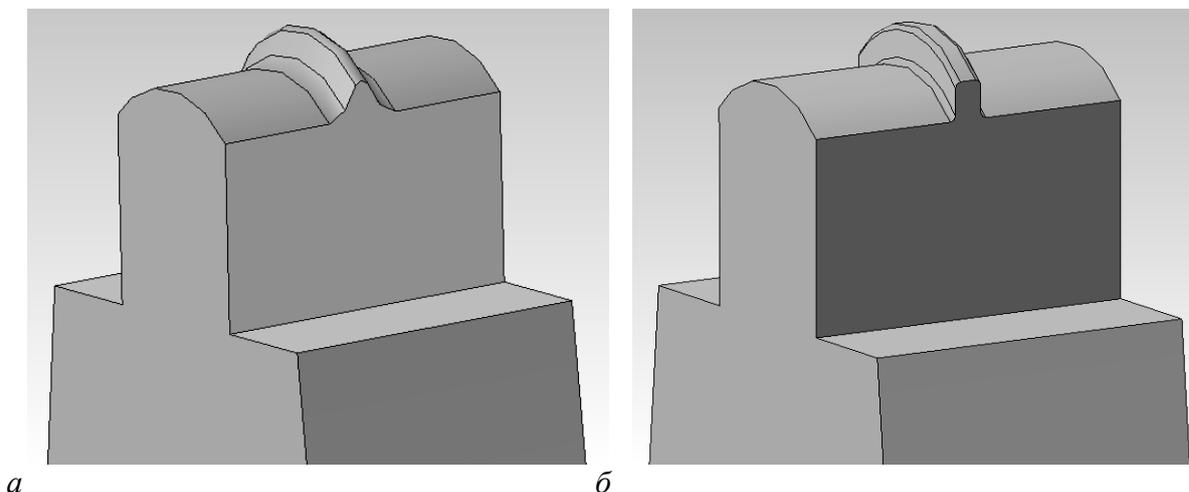


Рис. 4. Пуансон для изготовления насечки прямоугольной (а) и конической (б) формы на профилирующем ролике

В результате проведенной работы получили второй комплект чертежей инструмента для изготовления арматурной проволоки периодического профиля Вр-1 нестандартных размеров $\square 2,2 \dots 6,0$ мм с конической формой насечки. Были изготовлены опытные партии рабочего инструмента, вспомогательного инструмента и продукции. Потребителей полностью удовлетворила поставленная проволока по геометрическим, механическим и эксплуатационным свойствам.

В данный момент ОАО «ММК-МЕТИЗ» успешно изготавливает арматуру с двумя конфигурациями поверхности в зависимости от требований потребителя.

Список литературы

1. Разработка и реализация конкурентоспособных технологий производства низкоуглеродистой арматурной проволоки в условиях ОАО «ММК-Метиз» / А.Д. Носов, Е.П. Носков, В.Е. Семенов, Б.А. Коломиец и др. Магнитогорск: МГТУ, 2008. 108 с..
2. Технологическое обеспечение производства железобетонных конструкций: Учеб. пособие / Э.И. Батяновский, В.В. Бабицкий, Е.В. Коробко, П.И. Юхневский. Мн.: БГПА, 2001. 161 с.

Referens

1. Razrabotka i realizacia konkurentnosposobnyh tehnologiy proizvodstva nizkouglerodistoy armaturnoy provoloki v usloviyah ОАО “ММК-МЕТИЗ” / A.D. Nosov, E.P. Noskov, V.E. Semenov, B.A. Kolomiec i dr. Magnitogorsk: MGTU, 2008. p. 108.
2. Tehnologicheskoe obespechenie proizvodstva gelezobetonnyh konstrukcij: Ucheb. posobie / E.I. Batyanovskiy, V.V. Babickiy, E. V. Korobko, P. I. Uhnevskiy. - Mn.: BGPA, 2001. p. 161.

УДК 621.778

КРИТЕРИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ В ПРОХОДЕ ВОЛОЧЕНИЯ КРУГЛОГО СПЛОШНОГО ПРОФИЛЯ

Гурьянов Г.Н.

г. Белорецк, ООО «Феникс +»

При производстве проволоки малого сечения приходится применять несколько волоочильных переделов, что требует высоких затрат электроэнергии. Энергия расходуется не только на формоизменение исходной заготовки волоочильного производства – катанки до готового размера проволоки, но и преодоление силы контактного трения в рабочем канале проволоки. Кроме того, сдвиг металла на входе и выходе очага пластической деформации и противонапряжение увеличивают силу волочения [1-5].

На выходе волокна полное осевое напряжение определяется составляющими [5]

$$\sigma_{z_2} = \sigma_{z_1} + \sigma_{z_2} + \sigma_{z_q} + \sigma_{cd}, \quad (1)$$

где σ_{z_1} , σ_{z_2} - прирост осевого напряжения, соответственно, в рабочем конусе и калибрующем пояске проволоки; σ_{z_q} , σ_{cd} - составляющие от действия напряжения противонапряжения и от дополнительного сдвига металла на входе и выходе из рабочего конуса.

Примем степенную зависимость предела текучести металла σ_{sk} от коэффициента вытяжки μ [4, 5]

$$\sigma_{sk} = \sigma_{s0} \cdot \mu^k, \quad (2)$$

где σ_{s0} , σ_{sk} - предел текучести металла на входе и выходе рабочего конуса проволоки; k - коэффициент упрочнения; $\mu = (r_0 / r_k)^2$, r_0 , r_k - радиус заготовки до и после деформации. Эмпирическая формула (2) наиболее подходит для отражения изменения прочности холоднотянутой углеродистой проволоки из патентованной заготовки.

Расчёт основной составляющей полного осевого напряжения - прироста осевого напряжения в рабочем конусе проволоки выполнили по формуле [5]

$$\sigma_{z_1} = \frac{\sigma_{s0}}{k} \cdot (\mu^k - 1) \cdot (1 + f \cdot ctga), \quad (3)$$

где f - коэффициент трения; α - угол наклона образующей рабочего конуса к оси волочения.

Основные достоинства формулы (3): при расчёте напряжения σ_{Z1} учитываются интенсивность деформационного упрочнения и непрерывное изменение предела текучести вдоль длины очага деформации согласно зависимости (2); из неё вытекает (при $k = 0$) общепризнанная в зарубежной теории и практике волочения круглого сплошного профиля формула Зибеля

$$\sigma_{Z1} = \sigma_s \cdot L n \mu (1 + f \cdot ctga),$$

где $\sigma_s = (\sigma_{s0} + \sigma_{sk})/2$ - средний предел текучести металла в очаге деформации.

Составляющие полного напряжения σ_{Zq} и σ_{cd} , рассчитывали по известным в теории волочения формулам:

$$\sigma_{Zq} = \sigma_{q0} / \mu^{f \cdot ctg \alpha}; \quad (4)$$

$$\sigma_{cd} = 4 \cdot \sigma_s \cdot tg \alpha / (3 \cdot \sqrt{3}), \quad (5)$$

где σ_{q0} - напряжение противонапряжения. При выполнении расчётов основной составляющей σ_{Z1} полного напряжения волочения по формуле (3) целесообразно применять новое уравнение [6]

$$\sigma_{Zq} = \sigma_{q0} (1 - f(\mu^k - 1) / (k \cdot tg \alpha)). \quad (6)$$

Уравнение (6) в отличие от известной формулы (4) учитывает интенсивность деформационного упрочнения коэффициентом упрочнения k . Расчёт исследуемой функции, определяющей эффективность формоизменения в проходе волочения, выполнили с применением известной (4) и новой (6) формул.

Перед входом калибрующего пояска осевое напряжение равно

$$\sigma_{Zk} = \sigma_{Z1} + \sigma_{Zq} + \sigma_{cd}.$$

Прирост осевого напряжения в пояске длиной L определим без учёта (7) и с учётом (8) напряжённого состояния на его входе [7-9]

$$\sigma_{Z2} = 2\sigma_{sk} fL / r_k, \quad (7)$$

$$\sigma_{Z2} = 2fL(\sigma_{sk} - \sigma_{Zk}) / r_k = 2\sigma_{sk} fL(1 - \sigma_{Zk} / \sigma_{sk}) / r_k. \quad (8)$$

Формула (7) даёт возможность вычислить прирост осевого напряжения в калибрующем пояске без расчёта напряжения σ_k . Эта формула получена из допущения, что радиальное напряжение в пояске постоянно и равно по модулю пределу текучести металла σ_{sk} на выходе рабочего конуса волокна [7]. В работе [9] показана степень завышения прироста осевого напряжения в калибрующем пояске по формуле (7) в зависимости от значений основных параметров деформации и целесообразность применения новой формулы (8).

Первое слагаемое в уравнении (3) определяет прирост осевого напряжения, идущего на пластическое формоизменение заготовки с учётом деформационного упрочнения металла и обозначим его как

$$\sigma_{Z0} = \sigma_{s0} \cdot (\mu^k - 1) / k. \quad (9)$$

Относительный прирост осевого напряжения на осуществление изменения формы проволочной заготовки равен

$$\eta_\phi = \sigma_{Z0} / \sigma_{Z2}. \quad (10)$$

Будем в дальнейшем называть отношение η_f показателем или критерием эффективности формоизменения и коэффициентом полезного действия (КПД) напряжений волочения при формоизменении заготовки в проходе волочения. В работе [10] предложено использовать величину отношения коэффициента фактической вытяжки и коэффициента максимально возможной вытяжки (μ/μ_{\max}) для определения КПД процесса волочения за проход волочения. Здесь же КПД (10) оценивается отношением «полезного» приращения осевого напряжения σ_{z0} (9) и полного напряжения $\sigma_{z\Sigma}$ (1) на выходе волокна. Близким по содержанию с критерием η_f является коэффициент эффективности деформации (обозначим его как η_B), который рассчитан для нескольких процессов ОМД [11]. Автор работы [11] сделал вывод, что эффективность деформации, оцениваемая относительной работой на пластическое формоизменение заготовки, уменьшается с повышением нормального контактного давления в очаге деформации и параметра формы зоны деформации $\Delta = h / L$ (h и L – соответственно высота и длина очага деформации). Кроме того, утверждается [11], что эффективность деформации η_B снижается с ростом неоднородности деформации Φ ($\eta_B = 1 / \Phi$). Поэтому сделано заключение [11]: «связь эффективности деформации η_B с коэффициентом неоднородности деформации Φ весьма удобна, так как последнюю величину можно определить из экспериментальных исследований». Основанием таких выводов, стали результаты соответствующих расчётов при разных процессах ОМД методом линий скольжения. По мнению автора настоящей работы, применение этого метода расчёта не всегда обеспечивает достоверность описания напряжённого состояния, например, при холодном волочении, когда существенное изменение вдоль длины очага деформации прочностных свойств и контактного давления. И при этом необходимо учесть влияние сдвиговой деформации в очаге деформации и на его границах, возможность приложения противонапряжения и т.п. Предложенный критерий η_f в отличие от коэффициента η_B эффективности деформации [11] учитывает изменение вдоль длины очага деформации прочности протягиваемого материала и контактного давления, действие противонапряжения и сдвиговой деформации на границах очага пластического формоизменения.

Относительные значения прироста осевого напряжения от действия граничного трения и деформации сдвига металла на входе и выходе очага пластической деформации определяли по соответствующим формулам

$$\eta_f = (\sigma_{z\Sigma} - \sigma_{z0}) / \sigma_{z\Sigma}, \quad \eta_\alpha = \sigma_{cd} / \sigma_{z\Sigma},$$

где σ_{z0} - полное напряжение при отсутствии трения ($f = 0$). Также выполнили расчёт коэффициента запаса прочности γ по И.Л. Перлину [3] по значениям предела текучести σ_{sk} и осевого напряжения $\sigma_{z\Sigma}$ на выходе волокна

$$\gamma = \sigma_{sk} / \sigma_{z\Sigma}.$$

Приняли начальный предел текучести заготовки $\sigma_{s0} = 800$ МПа и коэффициент упрочнения $k = 0,25$ и $0,95$ (2). Диаметр калибрующего пояска - 4 мм. На рис. 1 приведены зависимости показателя η_f от коэффициента вытяжки и угла α при отсутствии трения (а), коэффициенте трения 0,05 (б) и 0,10 (в - е). При коэффициенте $f = 0,10$ расчёты выполнены при отсутствии калибрующего пояска и его длине - 4 мм. С ростом обжатия КПД формоизменения η_f увеличивается, но не достигает значения 1, так как при волочении всегда происходит сдвиговая деформация ($\alpha \neq 0$, $\sigma_{cd} \neq 0$ и $\sigma_{z0} \neq \sigma_{z\Sigma}$). При отсутствии контактного трения прирост осевого напряжения в рабочем конусе согласно зависимости (3) не зависит от величины угла α , а прирост напряжения σ_{cd} монотонно увеличивается с повышением угла α . Поэтому кривые зависимостей не пересекаются и кривая 1 ($f = 0$) при меньшем сдвиге ($\alpha = 3^\circ$) оказалась выше других. При коэффициентах трения 0,05 и 0,10 (б - е) и $\mu > 1,2$ значение η_f меньше при $\alpha = 3^\circ$ (кривые 1) из-за высоких сил трения в рабочем

канале волокна. Только при малых деформациях ($\mu < 1,05$) показатель η_ϕ больше при $\alpha = 3^\circ$ ($\delta - e$).

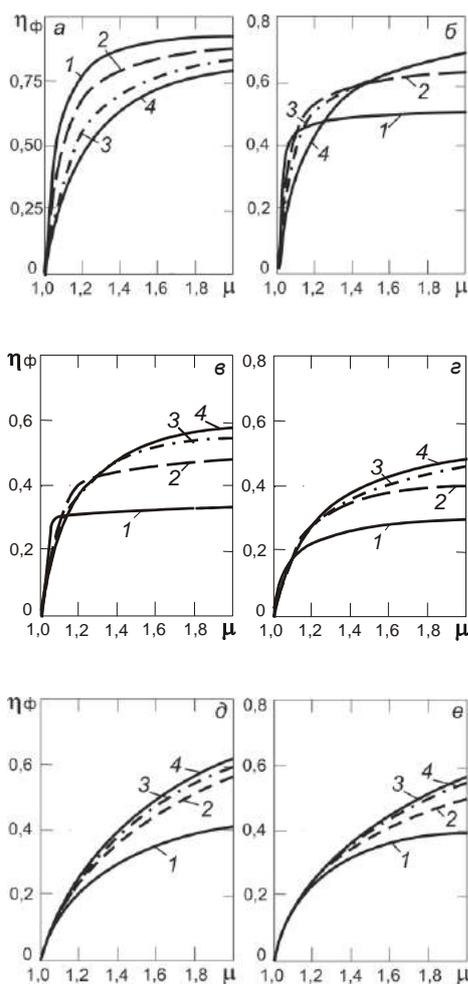


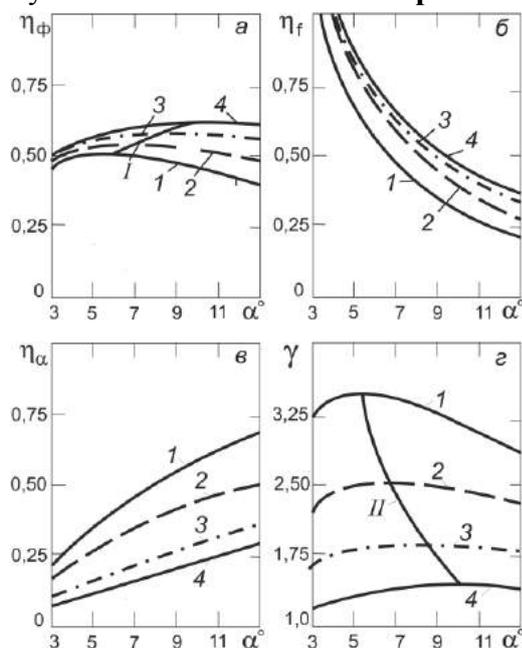
Рис. 1. Зависимость показателя эффективности формоизменения η_ϕ от коэффициента вытяжки:

$a - f = 0, L = 0$; $\delta - f = 0,05, L = 0$; $(\epsilon - e) - f = 0,10, \epsilon - L = 0$; $(z - e) - L = 4$ мм;
 z - использована формула (4); δ, e - использована формула (5); $(a - \delta) - k = 0,25$;
 $e - k = 0,95$;
1 - $\alpha = 3^\circ$; 2 - $\alpha = 6^\circ$; 3 - $\alpha = 9^\circ$; 4 - $\alpha = 12^\circ$

С увеличением длины пояска снизилась величина критерия эффективности η_ϕ при всех значениях угла α , что видно из сравнения зависимостей (см. рис. 1, ϵ и z). Прирост осевого напряжения в пояске по формуле (4) выше, чем по аналогичной зависимости (5), учитывающей величину напряжения σ_{zk} на его входе. Поэтому кривые (см. рис. 1, z) находятся ниже соответствующих кривых (см. рис. 1, δ) особенно при коэффициенте $\mu > 1,3$.

Повышение коэффициента упрочнения k от 0,25 до 0,95 вызвало снижение эффективности формоизменения η_ϕ при наличии калибрующего пояска, что более заметно из сравнения кривых зависимостей (см. рис. 1, δ, e) при высокой степени деформации. Расчёт при других значениях параметров деформации показал, что уменьшение показателя η_ϕ с ростом коэффициента упрочнения более заметно при повышенных значениях коэффициентов трения и вытяжки при использовании обеих формул (4) и (5) для расчёта

прироста осевого напряжения в калибрующем пояске. Увеличение напряжения противонапряжения снижает влияние коэффициента упрочнения k на величину критерия η_ϕ . При отсутствии пояска критерий η_ϕ не зависит от интенсивности упрочнения. Влияние величины угла α на относительные показатели η_ϕ , η_f , η_α и коэффициент запаса прочности γ при $f = 0,05$, $k = 0,25$, $\sigma_{q0} = 0$ и отсутствии пояска показано на **рис. 2**.



**Рис. 2. Влияние величины угла α на относительные показатели η_ϕ , η_f , η_α и коэффициент запаса прочности γ при $f = 0,05$:
1 - $\mu = 1,15$; 2 - $\mu = 1,25$; 3 - $\mu = 1,40$; 4 - $\mu = 1,60$;
I- линия максимальных значений η_ϕ при разном коэффициенте вытяжки;
II- линия максимальных значений коэффициента запаса прочности γ**

Кривые для зависимостей критерия η_ϕ и коэффициента γ имеют максимум при оптимальном значении α , когда полное осевое напряжение $\sigma_{z\Sigma}$ минимально. Линии I и II соединяют вершины кривых соответственно для показателей η_ϕ и γ . С увеличением коэффициента вытяжки вершины кривых, а следовательно оптимальные значения угла волочения смещаются в область более высоких значений угла α . Рост величины деформации вызвал увеличение показателя эффективности формоизменения и уменьшение запаса прочности. Относительный прирост η_f осевого напряжения от действия трения уменьшается (б), а относительный прирост напряжения η_α на осуществление деформации сдвига (в) увеличивается с ростом угла α . Причём с увеличением коэффициента вытяжки показатель η_f возрастает, а η_α уменьшается. При малом обжатии заготовки и большом значении угла α существенная величина критерия η_α (кривая 1, см. рис. 2, в).

Данные (рис. 3) позволяют оценить влияние напряжения противонапряжения на значения показателей η_ϕ и η_f при $\alpha = 3^\circ$ и $\alpha = 9^\circ$ и разных значениях коэффициента трения. При построении зависимостей рис. 3 использовали формулу (4). С ростом напряжения противонапряжения уменьшается показатель эффективности формоизменения. Особенно это выражено при малых значениях коэффициента трения. При высоком значении коэффициента трения 0,20 и $\alpha = 3^\circ$ (кривая 4, см. рис. 3, а) величина КПД формоизменения η_ϕ уменьшилась

незначительно, что показывает эффективность применения противонапряжения при малых углах α и повышенных и высоких значениях коэффициента трения. Противонапряжение снижает показатель долевого участия трения η_f (см. рис. 3, б, з).

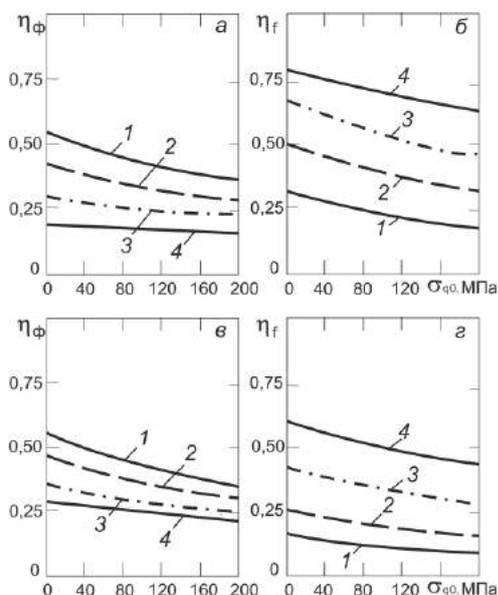


Рис. 3. Зависимость показателей η_{ϕ} (а, в) и η_f (б, з) от напряжения противонапряжения при коэффициенте вытяжки 1,25 и длине пояска 2 мм:

$$а, б - \alpha = 3^{\circ}; в, з - \alpha = 9^{\circ};$$

$$1 - f = 0,025; 2 - f = 0,05; 3 - f = 0,10; 4 - f = 0,20$$

В общем случае приложение противонапряжения увеличивает напряжение (силу) волочения. В результате снизилась величина критерия формоизменения η_{ϕ} , что и подтвердили приведённые здесь результаты расчёта. Но если следовать выводу Бэкофена [11], что *уменьшение давления в очаге деформации вызывает повышение эффективности деформации, то приложение противонапряжения должно всегда снижать расход энергии на получение того же формоизменения в проходе волочения*. Таким образом, этот вывод не подтверждается при волочении с противонапряжением.

Выводы

Предложенный критерий η_{ϕ} рассматривает расходы энергии на формоизменение заготовки и повышение прочностных свойств обрабатываемого материала как полезные, а затраты энергии на преодоление сил контактного трения и противонапряжения, на сдвиговую деформацию в очаге деформации и на его границах признаёт дополнительными и бесполезными. При оптимальном значении угла α волочения достигаются максимальные значения критерия η_{ϕ} эффективности формоизменения и коэффициента γ запаса прочности. С повышением напряжения противонапряжения наблюдается непрерывное снижение критерия η_{ϕ} . При этом интенсивность снижения меньше при более высоких значениях коэффициента трения. Таким образом, снижается отрицательное действие противонапряжения на величину силу волочения при повышенных значениях коэффициента трения.

Список литературы

1. Губкин С.И. Пластическая деформация металлов. Т. 3. М.: Metallurgizdat, 1960. 306 с.
2. Перлин И.Л., Ерманок М.З. Теория волочения. М.: Metallurgiya, 1971. 447 с.
3. Тарнавский А.Л. Эффективность волочения с противонапряжением. М.: Metallurgizdat, 1959. 152 с.
4. Изготовление высококачественных метизов (научный и практический опыт Белорецкого металлургического комбината) / В.А. Кулеша, Н.А. Клековкина, Х.Н. Белалов и др. Магнитогорск: Магнитогорский дом печати, 1999. 327 с.
5. Гурьянов Г.Н. Расчёт, анализ напряжений, деформаций и запаса прочности при холодном волочении проволоки: Монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. 358 с.
6. Гурьянов Г.Н. К оценке эффективности применения противонапряжения при волочении круглого сплошного профиля // Заготовительные производства в машиностроении. 2012. № 12. С. 30 – 38.
7. Зыков Ю.С. Определение максимально допустимых вытяжек при волочении. // Сталь. 1998. № 4. С. 54 – 55.
8. Гурьянов Г.Н. Относительная величина прироста осевого напряжения в калибрующем пояске волокна // Metallurg. 2007. № 6. С. 53 – 55.
9. Гурьянов Г.Н. Расчёт прироста осевого напряжения в калибрующем пояске с учётом напряжённого состояния круглой заготовки на выходе рабочего конуса волокна // Заготовительные производства в машиностроении. 2012. № 6. С. 34 – 36.
10. Аркулис Г.Э. О максимальной вытяжке при волочении // Труды конференции по метизному производству: Сб. науч. тр. Челябинск: Изд - во ЦБТИ Челябинского совнархоза, 1961. С. 36 – 42.
11. Бэкофен В. Процессы деформации. Пер. с англ. В.С. Берковского, Ф.И. Рузанова. М.: Metallurgiya, 1977. 288 с.

Referens

1. Gubkin S.I. Plastic deformation of metals. V. 3. M.: Metallurgizdat, 1960. 306 p.
2. Perlin I.L., Ermanok M.Z. Theory of drawing. M: Metallurgya, 1971. 447 p.
3. Tarnavskiy A.L. Efficiency drawing with protivostojanie. M.: Metallurgizdat, 1959. 152 p.
4. Manufacturer of high quality hardware (scientific and practical experience of Beloretsk metallurgical works): Monograph. Magnitogorsk: SEI HPE «MSTU», 1999. 327 p.
5. Guryanov G.N. Calculation, the analysis of stress, deformations and margin of safety in case of cold drawing of a wire: Monograph. Magnitogorsk: SEI HPE «MSTU», 2008. 358 p.
6. Guryanov G.N. To evaluate the efficiency of application of protivostojanie when drawing round solid profile // Blank productions in mechanical engineering. 2012. № 12. pp. 30 - 38.
7. Zyjkov Yu.S. Determination of the maximum allowable drawing – down in case of drawing // Steel. 1998. № 4. pp. 54 - 55.
8. Guryanov G.N. Relative value of growth axial tension in calibrating the band portages // Metallurg. 2007. № 6. pp. 53 - 55.
9. Guryanov G.N. The calculation of the increase of the axial tension in calibrating the band taking into account the stress state of round billet output working cone drawing dies // Blanking productions in mechanical engineering. 2012. № 6. pp. 34 - 36.

10. Arkulis G.A. About the maximum hood when drawing. In proceedings: Proceedings of the conference on metalware production. Chelyabinsk: Publishing house of CBTI Chelyabinsk economic Council, 1961. pp. 36 - 42.

11. B. Backofen. Processes of deformation. Translated by from English / V.S. Berkovsky, F.I. Ruzanov. M: Metallurgy, 1977. 288 p.

УДК 621.778.1.014-426

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОВОЛОКИ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ И РАДИАЛЬНО-СДВИГОВОЙ ПРОТЯЖКЕ

Харитонов В.А., Усанов М.Ю.

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

Стальная проволока и изделия из нее (канаты, пружины, металлическая сетка и т.п.) являются основной, как по объему, так и по значению металлопродукцией метизного передела черной металлургии, которая находит массовое применение практически во всех отраслях промышленности [1].

В применяемых в настоящее время в проволочном производстве технологических процессах изготовления проволоки основными операциями, обеспечивающими получение проволоки необходимых размеров с требуемыми физико-механическими свойствами, являются способы обработки металлов давлением и термическая обработка [2].

Исторически сложилось так, что основным способом ОМД при изготовлении проволоки стало волочение в монолитной волоке. В настоящее время волочение достаточно хорошо изучено теоретически, обеспечено эффективным высокопроизводительным оборудованием, спроектированным с учетом особенностей процесса волочения и способствующим устранению его недостатков. Однако волочение в монолитных волоках остается многоцикловым, многооперационным, длительным по времени, а, следовательно, дорогостоящим процессом. Кроме того, способ подвода энергии, относительно короткий очаг деформации, симметричная схема деформации, монотонность течения металла не позволяют управлять структурообразованием и обеспечить, тем самым, получение проволоки с высокими значениями показателей прочности и пластичности [2].

Одним из наиболее перспективных способов производства проволоки является радиально-сдвиговая протяжка (РСПр), которая основана на принципах радиально-сдвиговой прокатки. РСПр осуществляется приложением к проволоке (катанке) переднего тянущего усилия без ее скручивания [3].

Установка радиально-сдвиговой протяжки представляет собой кассету с 3-мя неподвижными роликами, расположенными под углом 120° друг к другу, с углами подачи $\beta > 16^\circ$. Каждый ролик имеет рабочий конус и калибрующий пояс.

Моделирование РСПр в программном комплексе Deform 3d проведено в работах [4, 5], формирование структуры и комбинирование в сочетании с волочением и направлением вращения установки РСПр - в [6], а методики расчета режимов деформации - в [7].

Данная работа является продолжением работ [3-6], с тем отличием, что в качестве материала заготовки при моделировании использовалась упруго-пластическая среда. Для сравнения одновременно с РСПр было проведено моделирование процесса волочения в монолитной волоке.

Основные допущения:

- материал деформируемой среды - стали из базы Deform 3d AISI1010 и AISI1070; рассматривался один переход с 5,5 на 5,22 мм (обжатие 10 %);
- температура не учитывалась и принималась 20 град.;
- трение при волочении - по Кулону 0,08, при РСПр – по Зибелю 0,7;
- полуугол волоки - 4 град, угол конической части ролика РСПр также 4 град; угол подачи при РСПр – 20 град.

Распределение осевых, радиальных и тангенциальных напряжений для стали марки AISI1010 приведено на **рис. 1**.

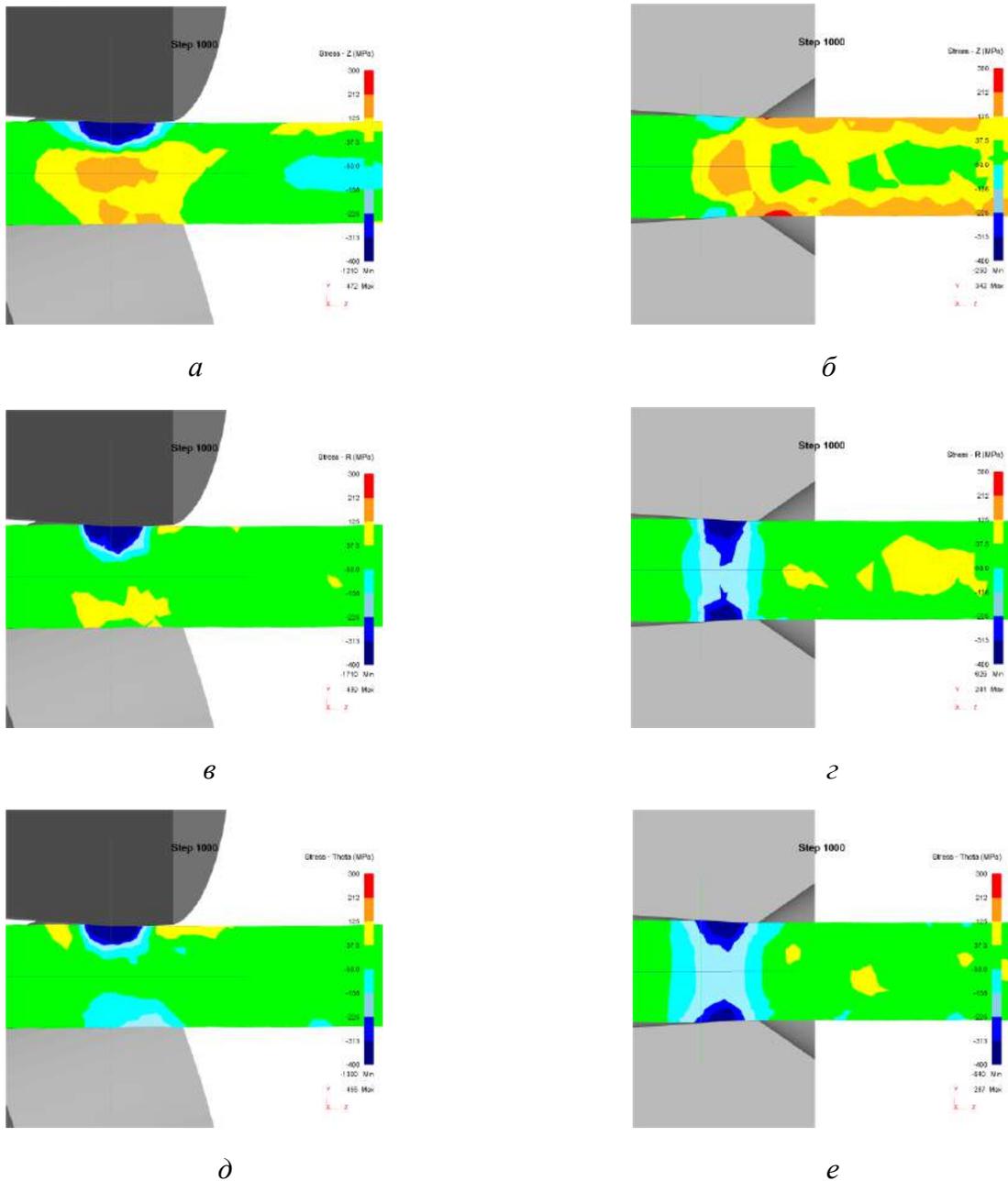


Рис. 1. Распределение напряжений (сталь марки AISI1010):
а – осевых при РСПр; **б** – осевых при волочении;
в – радиальных при РСПр; **в** – радиальных при волочении;
д – тангенциальных при РСПр; **е** – тангенциальных при волочении

Как видно из **рис. 1**, при РСПр напряжения имеют знакопеременный характер, в отличие от процесса волочения. Так, осевые сжимающие напряжения при РСПр имеют большую интенсивность под роликом и растягивающие напряжения - в межроликовом пространстве. Радиальные и тангенциальные напряжения в обоих процессах имеют примерно одинаковую величину и глубину проникновения, только при РСПр они имеют циклический характер.

Распределение осевых, радиальных и тангенциальных напряжений для стали AISI1010 приведено на **рис. 2**.

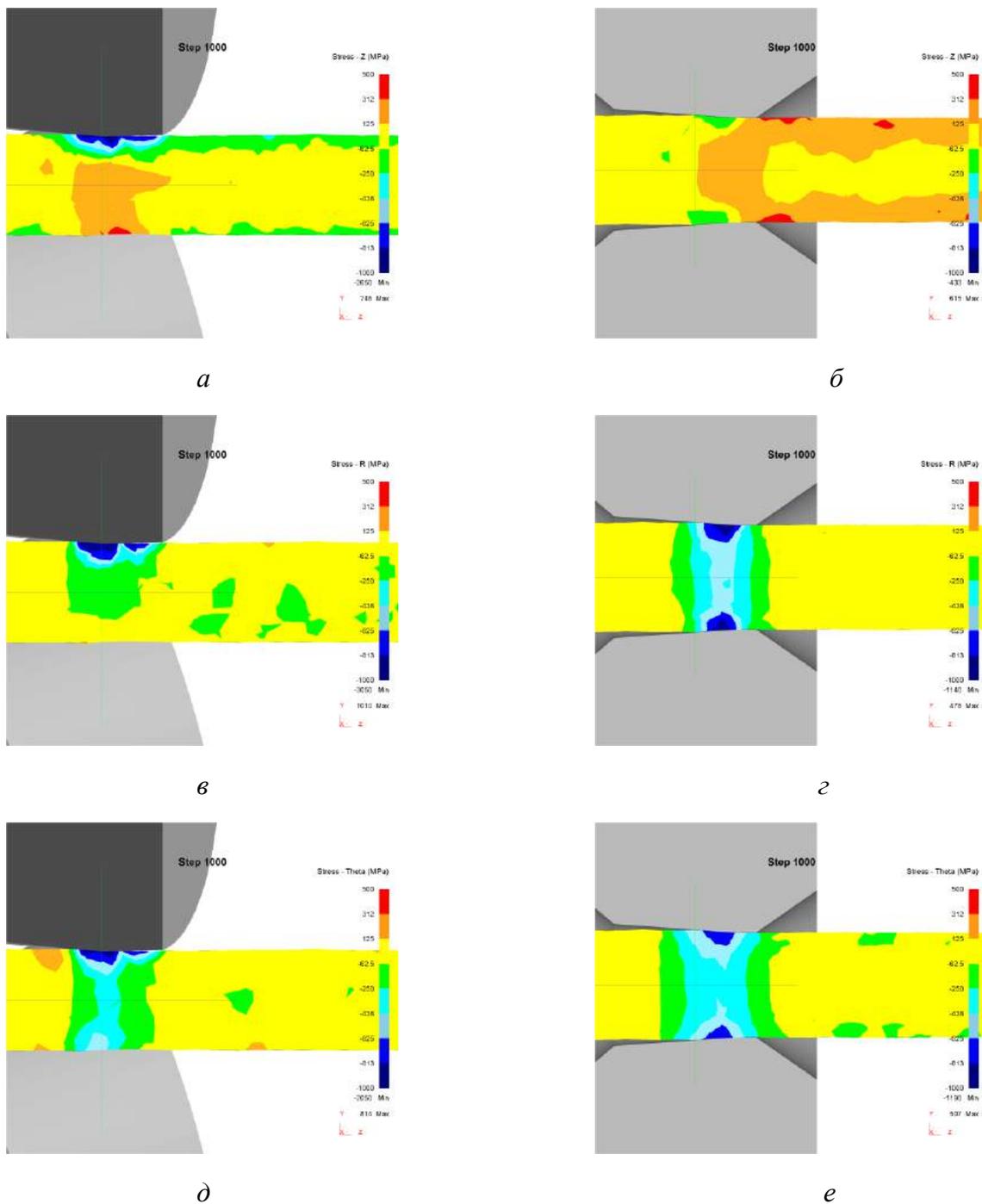


Рис. 2. Распределение напряжений (сталь AISI1070):
a – осевых при РСПр; ***б*** – осевых при волочении;
в – радиальных при РСПр; ***в*** – радиальных при волочении;
д – тангенциальных при РСПр; ***е*** – тангенциальных при волочении

Как видно из **рис. 2**, характер напряжений не изменился, а изменилась их величина. Кроме того, при волочении, на выходе из очага деформации, в поверхностном слое преобладают растягивающие напряжения, в то время как после РСПр в поверхностном слое преобладают сжимающие напряжения.

При волочении весь объем металла проволоки перемещается только поступательно относительно волоки, при РСПр в сечении проволоки наблюдается геликоидальное течение со своим углом подъема.

При трехроликовой схеме РСПр на деформируемую заготовку одновременно действуют нормальные напряжения нескольких видов (осевые, радиальные, тангенциальные) и касательные (сдвиговые), каждое из которых, в свою очередь, в зависимости от сечения заготовки и зон распределения, в тот или иной промежуток времени могут быть как сжимающими, так и растягивающими.

Выводы

1. Радиально-сдвиговая протяжка меняет схему распределения напряжений, в отличие от процесса волочения: если при волочении в поверхностных слоях действуют растягивающие напряжения, то при РСПр – сжимающие.

2. Уровень растягивающих напряжений в центре проволоки, при прочих равных условиях, при РСПр ниже приблизительно на 30 %.

3. Деформация при РСПр характеризуется знакопеременным характером (циклическостью) по сечению проволоки.

4. Течение металла при РСПр осуществляется по геликоидальной траектории, что способствует измельчению структуры.

Список литературы

1. Metallurgy qualimetry theory design and development / 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.

2. Харитонов В.А. Повышение эффективности производства стальной проволоки волочением // Обработка сплошных и слоистых материалов. 2013. № 1 (39). С. 79-84.

3. Совершенствование режимов деформации и инструмента при волочении круглой проволоки / В.А. Харитонов, А.Ю. Манякин, М.В. Чукин, Ю.А. Дремин, М.А. Тикеев, М.Ю. Усанов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та. им. Г.И. Носова, 2011. 174 с.

4. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Состояние и направления развития непрерывных способов наноструктурирования круглой проволоки // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. № 3 (43). С. 69-73.

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

6. Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Моделирование процесса структурообразования в углеродистой проволоке при радиально-сдвиговой протяжке // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 71-й межрегион. науч.-техн. конф. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. С. 245-247.

7. 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.

Referens

1. Metallurgy qualimetry theory design and development / 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.
2. Kharitonov V.A. Improvement of steel wire production efficiency obtained by drawing // Processing of solid and laminate materials. 2013. № 1 (39). P. 79-85.
3. Improving the deformation modes and tools for drawing round wire // Kharitonov V.A., Maniakin A.Yu., Chukin M.V., Dremin Yu.A., Tikeev M.A., Usanov M.Yu. Monograph. Magnitogorsk: MSTU, 2011. 174 p.
4. Kharitonov V.A., Usanov M.Yu. State and ways of continuous method development for round wire nanostructuring // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2013. № 3 (43). Pp. 69-73
5. Kharitonov V.A., Usanov M.Yu. Investigation of radial-shear wire broaching on basis of modeling // Metallurg. 2013. № 11. Pp.83-87
6. Kharitonov V.A., Usanov M.Yu. Simulation of the process of structure formation in carbon wire with radial-shear broach // Actual problems of modern science, technics and education: Proceedings of the 71st inter-regional scientific and technical conference. Magnitogorsk. 2013. Pp. 245-247.
7. Kharitonov V.A., Usanov M.Yu. Calculation of deformation pattern at radial displacement drawing // Processing of solid and laminate materials. 2013. № 1 (39). Pp. 38-41.

УДК 621.771

К ВОПРОСУ ВЫБОРА КРИТЕРИЕВ РАЗРУШЕНИЯ ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ В СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ

Барышников М.П., Чукин М.В., Бойко А.Б., Ильина Н.Н.

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

В процессах обработки давлением для определения максимальных деформаций за одну операцию необходимо учитывать вероятность разрушения заготовки при ее формоизменении. Для этой цели необходимо производить расчеты на прочность с применением механики разрушения. Основой механики разрушения является теория о наличии микротрещин в материалах, которые под действием внешней нагрузки увеличиваются в размерах, коагулируются, что приводит к разрушению. В общем случае процесс разрушения можно разделить на две стадии: зарождение трещины (критерий разрушения) и ее развитие. Критерии разрушения определяют наступление предельного состояния, при котором трещина начинает распространяться. Вторая стадия разрушения описывает скорость распространения трещины. Исторически сложились два подхода к описанию трещин: энергетический и силовой.

Первый энергетический критерий был предложен в 1920 году в работе А.А. Гриффитса «Явление разрушения и течения твердого тела». В результате проведенных испытаний со стеклянными волокнами, он пришел к выводу о зависимости прочности от дефектности структуры кристаллов. Условием распространения трещины, согласно Гриффитсу, является условие

$$\sigma = \sqrt{\frac{EG_{IC}}{\pi l}} \quad (1)$$

где G_{IC} – критическая скорость высвобождения энергии; l – половина длины трещины.

Теория А.А. Гриффитса является основой современной механики разрушения, но расчеты, основанные на расчете энергии деформации всего тела, оказались очень сложными и в практике инженерных расчетов не нашли применения.

В 1957 году Дж. Р. Ирвин предложил силовой критерий и ввел понятие коэффициента интенсивности напряжений (КИН) [1]

$$\sigma_{ij} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij}(\Theta), \quad (2)$$

$$K_I = \sigma\sqrt{\pi a},$$

где K_I – КИН, индекс обозначает тип разрушения; Θ, R – функции координат; a – длина трещины

Силовой критерий Дж. Р. Ирвина получил более широкое распространение и позволил производить расчеты на прочность реальных материалов с учетом работы пластической деформации в вершине трещины.

Среди отечественных ученых наиболее обоснованным и подтвержденным экспериментально считается критерий разрушения В.Л. Колмогорова, А.А. Богатова Б.А. Мигачева с соавторами [2], учитывающий способность материалов к самозалечиванию дефектов при сложном напряженном состоянии:

$$\Psi = \int_0^{t_p} E(t-\tau)\beta(\tau) \frac{\dot{\varepsilon}_u}{\varepsilon_p[\eta(\tau)]} d\tau = 1, \quad (3)$$

где $\dot{\varepsilon}_u$ – интенсивность скорости деформации; $\beta(\tau)$ – величина, учитывающая скорость развития трещин и их залечивание при холодном деформировании; $E(t-\tau)$ – коэффициент, учитывающий самозалечивание дефектов при высоких температурах.

Г.Д. Дель в своей работе [3] предложил критерий деформируемости, представленный выражением:

$$\Psi = \int_0^{\varepsilon_0} \left(1 + a \frac{d\eta}{de_0}\right) \frac{\overline{\varepsilon_{00}} \frac{d\eta}{d\varepsilon_0}}{\{e_{np}(e_0)\}^{1+a \frac{d\eta}{d\varepsilon_0}}} de_0 \leq 1. \quad (4)$$

где a – константа $\approx 0,2$; e – параметр пластичности; η – коэффициент жесткости напряженно-деформированного состояния.

В работе В.А. Огородникова [4] представлен критерий, учитывающий влияние истории деформирования

$$\Psi = \int_0^{e_u} \left(1 + a \cdot \arctg \frac{d\eta}{de_u}\right) \frac{e_u^{a \cdot \arctg \frac{d\eta}{de_u}} de_u}{[e_p^*(e_u)]^{1+a \cdot \arctg \frac{d\eta}{de_u}}} \leq 1, \quad (5)$$

где $e_p^*(e_u)$ - участок диаграммы пластичности, справедливый для случая объемного напряженного состояния.

В настоящее время предложено большое количество моделей разрушения, среди которых наибольшее распространение получили критерии, реализованные в расчетных программных комплексах. В данной работе рассмотрены критерии разрушения, применяемые в программных комплексах, основанных на методе конечных элементов [5] Deform-3D и Simulia Abaqus.

Рассмотрим критерии прочности применительно к их использованию в современных программных комплексах, работающих по методу конечных элементов. Более подробно рассмотрим критерии, используемые в универсальном программном комплексе Simulia Abaqus, позволяющий моделировать наиболее широкий спектр задач от простого прогиба консольно-закрепленной балки до сильно нелинейного взрыва ядерного реактора и Deform-3D, применяющийся при моделировании процессов обработки давлением [6].

При моделировании в специализированном программном комплексе Deform-3D по умолчанию принят критерий Кокрехта-Лантама (Cockcroft and Latham). Программой предусмотрено применение других критериев, но большинство из них являются его модификациями [7]. Критерий Кокрехта-Лантама основан на критическом значении энергии деформации на единицу объема:

$$D = \int_0^{\bar{\varepsilon}} \bar{\sigma} d\bar{\varepsilon}, \quad (6)$$

где $\bar{\sigma}$ - интенсивность напряжений; $d\bar{\varepsilon}$ - приращение накопленной деформации.

Нормализованная версия этого критерия записывается в виде

$$D = \int_0^{\bar{\varepsilon}} \frac{\sigma^*}{\sigma} d\bar{\varepsilon}. \quad (7)$$

где σ^* - максимальное главное растягивающее напряжение.

Данный критерий широко используется в промышленности в интервале значений от 0,1 до 0,5. Стоит отметить, что критерий не учитывает роста микропустот, а оценивает их слияния [8, 9].

Критерий Броззо (Brozzo) устанавливает зависимость разрушения от наибольшего главного напряжения и гидростатического напряжения

$$D = \int_0^{\bar{\varepsilon}_f} \frac{2\sigma_1}{3(\sigma_1 - \sigma_m)} d\bar{\varepsilon}, \quad (8)$$

где σ_1 – наибольшее главное напряжение; σ_m – гидростатическое напряжение.

Согласно критерию Аяда (Ayada) разрушение зависит от отношения гидростатического напряжения и интенсивности напряжений

$$D = \int_0^{\bar{\varepsilon}_f} \frac{\sigma_m}{\sigma} d\bar{\varepsilon}. \quad (9)$$

При моделировании в Simulia Abaqus для математического расчета разрушения необходимо задать критерий прочности (Damage), при выполнении которого начинается процесс разрушения и схему развития разрушения (Damage evolution), которая будет описывать скорость разрушения материала после удовлетворения критерия прочности.

Критерий пластичного повреждения Ductile Damage применяется для прогнозирования наступления повреждения в результате зарождения, роста и слияния пустот в пластичных металлах. Модель предполагает, что эквивалентная пластическая деформация в начальной стадии разрушения является функцией объемного напряженного состояния и скорости деформации

$$\bar{\varepsilon}_D^{-pl} \left(\eta, \dot{\varepsilon}^{pl} \right), \quad (10)$$

где $\bar{\varepsilon}_D^{-pl}$ – эквивалентная пластическая деформация в момент начала разрушения; $\dot{\varepsilon}^{pl}$ – эквивалентная скорость пластической деформации.

$$\eta = -p/q, \quad (11)$$

где p – напряжение, вызванное давлением; q – интенсивность напряжений.

Разрушение рассчитывается для каждого элемента при выполнении условия:

$$\omega_D = \int \frac{d\bar{\varepsilon}^{-pl}}{\bar{\varepsilon}_D^{-pl} \left(\eta, \dot{\varepsilon}^{pl} \right)} = 1, \quad (12)$$

где ω_D – переменная, монотонно возрастающая с увеличением пластической деформации. На каждом этапе приращения в ходе математического моделирования переменная увеличивается по зависимости:

$$\Delta\omega_D = \frac{\Delta\bar{\varepsilon}^{-pl}}{\bar{\varepsilon}_D^{-pl} \left(\eta, \dot{\varepsilon}^{pl} \right)} \geq 0. \quad (13)$$

Критерий сдвига (Shear Damage) представляет собой феноменологическую модель прогнозирования разрушения под действием касательных напряжений. Модель предполагает зависимость эквивалентной пластической деформации в начальный момент разрушения от касательных напряжений и скорости деформации

$$\bar{\varepsilon}_S^{-pl} \left(\Theta_S, \dot{\varepsilon}^{pl} \right), \quad (14)$$

где Θ_S – коэффициент, учитывающий касательные напряжения и рассчитывающийся по формуле:

$$\Theta_S = (q + k_S p) / \tau_{\max}, \quad (15)$$

где τ – максимальное касательное напряжение; k_S – коэффициент, являющийся константой для материала.

Разрушение рассчитывается для каждого элемента при выполнении условия:

$$\omega_S = \int \frac{d\bar{\varepsilon}^{-pl}}{\bar{\varepsilon}_S^{-pl} \left(\Theta_S, \dot{\varepsilon}^{pl} \right)} = 1, \quad (16)$$

где ω_S – по аналогии с моделью пластичного повреждения, переменная, монотонно возрастающая с увеличением пластической деформации.

На каждом этапе приращения в ходе математического моделирования переменная увеличивается по зависимости

$$\Delta \omega_s = \frac{\Delta \bar{\varepsilon}^{-pl}}{\varepsilon_s^{-pl} \left(\Theta_s, \varepsilon^{\bullet pl} \right)} \geq 0. \quad (17)$$

Критерий прочности Джонсона-Кука является частным случаем пластичного критерия прочности и применяется для моделирования резки металлов. Критерий учитывает деформации, скорости деформации, температуру и давление.

Разрушение рассчитывается как

$$D = \sum \frac{\Delta \bar{\varepsilon}^p}{\varepsilon^p f}, \quad (18)$$

где $\Delta \bar{\varepsilon}^p$ – приращение пластической деформации во время шага интегрирования; $\varepsilon^p f$ – деформация разрушения для данных условий.

Разрушение начинается при $D = 1$ и данные элементы удаляются из дальнейшего расчета.

Критерий максимальных напряжений или деформаций (Maxs Damage или Maxps Damage) используются для прогнозирования разрушения связанных элементов, где целостность слоев определяются с точки зрения тяги-разделения. Обе формы оценки коэффициентов деформации определяются между заданным значением напряжения и пиком номинального значения напряжения в каждом из трех направлений. И представляют собой пиковые значения номинальной деформации при деформировании в направлении нормали к поверхности раздела или в направлениях сдвига. Критерии основаны на максимальном значении трех показателей

$$\text{MAX} \left\{ \frac{\langle \sigma_n \rangle}{N_{\max}}, \frac{\sigma_t}{T_{\max}}, \frac{\sigma_s}{S_{\max}} \right\} = 1, \quad (19)$$

где σ_n – нормальное напряжение; σ_t – напряжение при сдвиге в первом направлении; σ_s – напряжение при сдвиге во втором направлении

$$\langle \sigma_n \rangle = \begin{cases} \sigma_n & \text{при } \sigma_n > 0 \\ 0 & \text{при } \sigma_n < 0 \end{cases}. \quad (20)$$

Критерий максимальных квадратичных напряжений или деформаций (Quads Damage или Quadps Damage) аналогичен предыдущему, основан на квадратичной комбинации всех трех показателей.

$$\left(\frac{\langle \sigma_n \rangle}{N_{\max}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_t}{T_{\max}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_s}{S_{\max}} \right)^2 = 1. \quad (21)$$

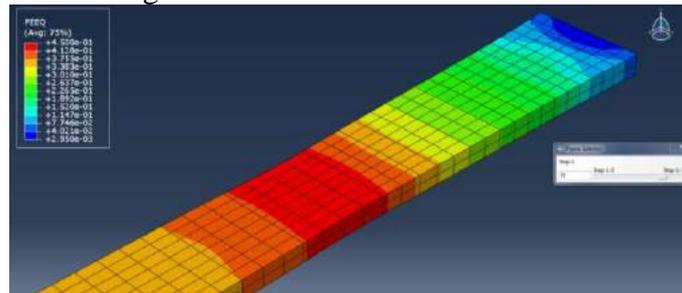
При использовании данного критерия отсутствуют повреждения при чистом сжатии.

После определения критерия прочности, необходимо указать схему развития разрушения (Damage evolution), которая будет описывать скорость разрушения материала после удовлетворения критерия прочности.

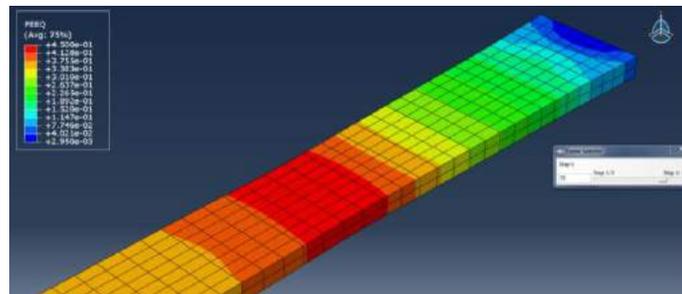
Для упруго-пластичных материалов развитие разрушения возможно задать двумя способами: с помощью энергии разрушения на единицу площади или с точки зрения пластического перемещения, оба подхода зависят от размеров характерного элемента, поэтому в зоне разрушения необходимо максимально сгущать сетку элементов.

В практических инженерных расчетах одной из наиболее важных задач является правильный выбор модели разрушения, учитывающий тип используемого материала и схемы нагружения. На **рис. 1-2** представлен расчет процесса равномерного растяжения с использо-

ванием критериев пластического разрушения Ductile Damage (Бао-Вербицки) и под действием сдвиговой нагрузки Shear Damage.

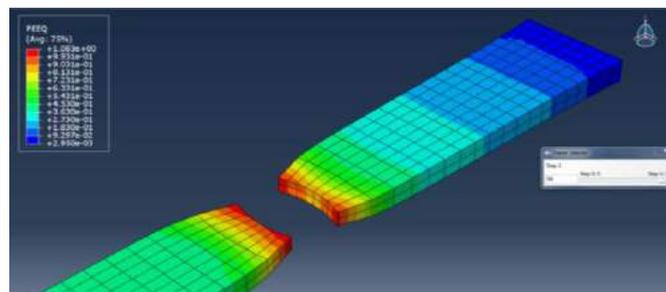


a

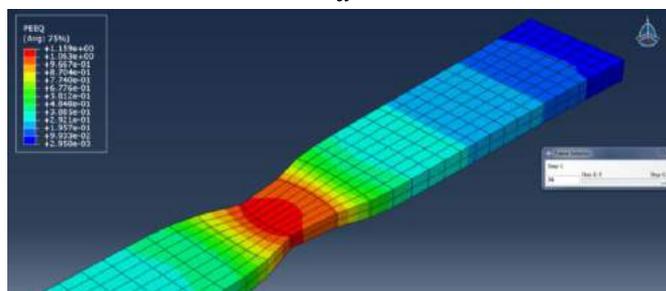


б

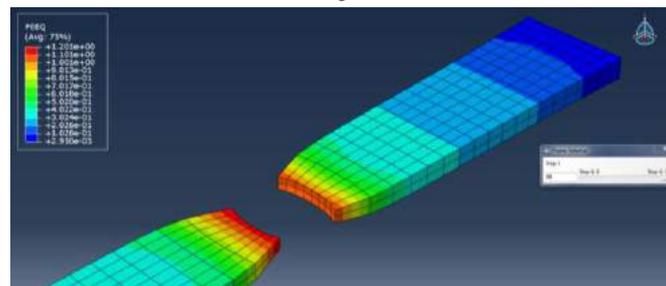
Рис. 1. Распределение эквивалентной пластической деформации по образцу в момент образования шейки при использовании критерия Ductile Damage (*a*) и Shear Damage (*б*)



a



б



в

Рис. 2. Распределение эквивалентной пластической деформации по образцу в момент разрыва при использовании критерия Ductile Damage (*a*) и Shear Damage (*б, в*)

Критерий разрушения не влияет на распределение НДС при растяжении до достижения значений временного сопротивления (см. **рис. 1**) и образования шейки. Разрыв образца, рассчитанный по критерию Ductile Damage происходит при максимальном значении эквивалентной пластической деформации - 1,083. При использовании критерия Shear Damage разрыв образца при значении 1,201 (см. **рис. 2**). Разрыв образца в процессе равномерного растяжения происходит под действием растягивающих напряжений, что привело к завышенным на 11 % показателям при использовании критерия Shear Damage. При математическом моделировании рекомендуется использовать несколько критериев разрушения с целью недопущения завышенных показателей прочности материалов.

Список литературы

1. Irwin G.R. Analysis of stresses and strain near the end of a crack traversing a plate // Applied Mechanics. 1957. V. 24, No 3. Pp. 361-364.
2. Колмогоров В.Л., Богатов А.А., Мигачев Б.А. и др. Пластичность и разрушение. М.: Металлургия. 1970. 336 с.
3. Огородников В.А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением. Киев : Вище школа. 1983. 176 с.
4. Дель Г.Д. Технологическая механика. М.: Машиностроение. 1978. 174 с.
5. 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. С. 72-74.
6. Долгий Д.К., Корчунов А.Г., Барышников М.П. Моделирование процесса стабилизации высокопрочной холоднодеформированной арматуры // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. № 2. С. 43-45.
7. Farrugia D., Cheong B. Multi-scale modelling for studying ductile damage of free cutting steel // Конференция пользователей Simulia, 2009.
8. Cockroft M.G., Latham D.J. A simple criterion of fracture for ductile metals, National Engineering Laboratory, report. 1966. 240 p.
9. Cescotto S., Zhu Y.Y. Modelling of ductile fracture initiation during bulk forming, in Compress // Pineridge Press 1995. Pp. 987-997.

References

1. Irwin G.R. Analysis of stresses and strain near the end of a crack traversing a plate // Applied Mechanics. 1957. V. 24, No 3. Pp. 361-364.
2. Kolmogorov V.L. etc. Plasticity and destruction. Moscow: Metallurgy. 1970. 336 p.
3. Ogorodnikov V.A. Evaluation deformability of metals at processing pressure. Kiev: Vishe school. 1983. 176 p.
4. Del G.D. Technological mechanics. - M.: Mechanical Engineering. 1978. 174 p.
5. Baryshnikov M.P., Chukin M.V., Boyko A.B. Analysis software packages for calculating the stress-strain state of composite materials in the processing pressure // Vestnik of Nosov MSTU. 2012. № 4. Pp. 72-74.
6. Dolgiy D.K., Korchunov A.G., Baryshnikov M.P. Modeling the process of stabilization of high-strength cold drawing reinforce // Vestnik of Nosov MSTU. 2012. № 2. Pp. 43-45.

7. Farrugia D., Cheong B. Multi-scale modelling for studying ductile damage of free cutting steel // User Conference Simulia. 2009.

8. Cockroft M.G., Latham D.J. A simple criterion of fracture for ductile metals, National Engineering Laboratory, report. 1966. 240 p.

9. Cescotto S., Zhu Y.Y. Modelling of ductile fracture initiation during bulk forming, in Compress // Pineridge Press 1995. Pp. 987-997.

УДК 621.771

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫСОКОСКОРОСТНОГО КОМПАКТИРОВАНИЯ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ГРАФИТА

Иванов В.А., Яров Б.А., Шеркунов В.Г.

ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (НИУ),

г. Челябинск, Россия

Введение

Процесс динамического прессования порошковых материалов на основе графита известен давно [1]. Однако оборудование, которое использовалось для проведения исследований, подразумевало использование энергии пороховых газов для создания высоких скоростей нагружения, что не позволило широко использовать данный процесс в производстве изделий общего назначения.

В начале XXI века в Швеции был разработан новый процесс высокоскоростного компактирования порошковых материалов и создано оборудование для его осуществления. Принципиальное отличие этого процесса от квазистатического заключается в получении заготовок повышенной плотности и лучшего качества.

Исследования процесса высокоскоростного компактирования металлических порошков на машинах типа НУР 30, выпускаемых шведской фирмой Hydropulsor, первой выполнила другая шведская фирма Högånäs [2]. На этих машинах, имеющих массу падающих частей от 5 до 1200 кг и скорость падения этих частей от 2 до 30 м/с, исследователи фирмы Högånäs получали высокоплотные заготовки массой от 5 до 10 кг из порошков легированных сталей с плотностью после спекания до $7,8 \text{ г/см}^3$. В работах [3, 4], выполненных также учеными фирмы Högånäs на порошках жаропрочных сплавов, исследовано влияние параметров процесса высокоскоростного компактирования на механические свойства готовых деталей газотурбинных двигателей. Установлено, что в результате повышения плотности порошковых заготовок после высокоскоростного компактирования на 20-25 % на готовых деталях после спекания увеличиваются показатели пределов текучести и прочности на растяжение. На машине Hydropulsor марки НУР35-04, установленной в шведской фирме Sinterheat, учеными этой фирмы совместно с учеными шведского университета Dalarna, выполнены исследования по компактированию порошков суперсплава кобальта. На порошках, распыленных водой, при формовании с энергией равной 4 кДж, удалось получить плотность, составляющую 95 % от теоретической плотности [5].

Французскими учеными на машине марки НУР35-18 фирмы Hydropulsor выполнены исследования процессов высокоскоростного компактирования порошков Al_2O_3 [6]. Для сравнения выполнялось формование таблеток диаметром 15 мм статическим способом на обычном гидравлическом прессе со скоростью 200 мм/мин и при удельном усилии от 10 до 800 МПа. Исследование плотности прессовок установило, что при удельном усилии до 550 МПа оба способа дают одинаковые значения плотности прессовок. При больших усилиях высокоскоростное компактирование обеспечивает более высокие значения плотности прессовок.

Ученые пекинского университета Науки и Технологии опубликовали ряд работ [7-11], посвященных высокоскоростному компактированию медных [7] и железных [8, 9] порошков. Исследованиями формования порошков меди установлено, что способом высокоскоростного компактирования на машине НУР 35-7 при энергии, равной 6 кДж, достигается плотность прессовок, равная 95 % от теоретической плотности. Компактирование железных порошков выполнялось за один, два или три удара бойка. Исследование плотности показало, что максимальная плотность достигается при двухимпульсном нагружении и минимальная - при трехимпульсном.

В 2011 г. специалистами НОЦ «Специальная металлургия» ЮУрГУ совместно с учеными Национальной инженерной школы в г. Сент-Этьен (Франция) на машине НУР 35-18 были выполнены эксперименты по высокоскоростному компактированию порошковых композиций на основе углерода [12]. В 2012-2013 гг. эксперименты по высокоскоростному компактированию порошковых композиций на основе углерода были продолжены в ЮУрГУ (г. Челябинск) на башенном копре конструкции кафедры «Машины и технологии обработки материалов давлением» и башенном копре Instron CEAST 9350 в НОЦ «Экспериментальная механика» ЮУрГУ.

Материалы, оборудование и оснастка

Состав порошковых композиций на основе углерода представлен в **табл. 1**.

Таблица 1

Состав порошковых композиций

№ смеси	Графит, %	Связующее, %	Медь, %	Кокс, %	Стеарат цинка, %
1	100	–	–	–	–
2	86	14	–	–	–
3	76	14	10	–	–
4	71	14	–	15	–
5	71	14	–	10	5

В качестве наполнителя использован «Графит искусственный измельченный» по ТУ 1916-109-71-2000, который получен из отходов электродного производства ОАО «ЭНЕРГОПРОМ–ЧЭЗ» размолот на шаровых мельницах, до размеров зерен от 1 мкм до 5 мм. Насыпная плотность графита не менее 0,85 г/см³. Связующее – порошковая фенолформальдегидная смола новолачного типа марки СФП-011А по ТУ 6-05751768-35-94, массовая доля уротропина 6-9 %, текучесть 20-65 мм, предварительно измельчена размолотом в вибрационной мельнице, остаток на сетке № 01К - менее 2 %. Электролитический порошок меди марки ПМС-1, использованный в составе № 3, имеет насыпную плотность, равную 1,25 - 2,00 г/см³. В составах № 4 и 5 в качестве добавки использовался нефтяной кокс марки КНГ. Порошок стеарата цинка, массовая доля цинка не более 4 %, кислотное число - 75-90, в составе № 5 применялся в качестве смазки между частицами графита. Композиции получали смешиванием компонентов в вибрационной мельнице. Насыпная плотность подготовленной смеси лежала в пределах 0,6-0,7 г/см³.

Гранулометрический анализ порошков проводился с применением грануломорфометра ALPAGA 500 NANO. Результаты гранулометрического анализа приведены в **табл. 2** в виде накопительного распределения частиц по характерному размеру.

Таблица 2

Распределение частиц порошковых композиций по размерам, мкм

№ смеси	Сред.	Min	P5	P10	P16	P25	P50	P75	P84	P90	P95	Max
1	47	0,96	13	18	21	26	40	65	77	85	94	95
2	32	0,96	8	10	12	15	22	40	57	72	86	99,8
3	34	0,96	9	11	14	17	26	46	56	72	81	87
4	33	0,48	9	12	15	20	31	44	48	54	64	78
5	33	0,48	9	12	15	18	28	45	53	59	75	76

Исследование процессов высокоскоростного прессования проведено на высокоскоростном газогидравлическом прессе марки НУР 35-18 со специальным прессующим блоком, башенном копре Instron CEAST 9350, а также башенном копре конструкции кафедры «Машины и технологии обработки материалов давлением» ЮУрГУ. Некоторые характеристики использованного оборудования приведены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристики оборудования

Марка оборудования	Максимальная энергия удара, Дж	Масса падающих частей, кг	Диапазон скоростей удара, м/с	Работа в режиме пульсаций	Предел измерения силы удара, тс
НУР 35-18	18000	350	1...11	Да	–
Instron CEAST 9350	1800	5...70	0,77...24	Нет	40
Копер ЮУрГУ	2000	5...50	1...9	Нет	–

Одностороннее прессование порошков проводилось в закрытых пресс-формах с неподвижной матрицей. Конструкция пресс-формы для получения образцов Ø 10 мм на башенном копре Instron CEAST 9350 представлена на рис. 1. На рис. 2 представлена конструкция пресс-формы для получения образцов Ø 30 мм на башенном копре конструкции ЮУрГУ. Конструкции пресс-форм для получения образцов Ø 50 мм на газогидравлическом прессе НУР 35-18 и Ø 19 мм на башенном копре конструкции ЮУрГУ, аналогичны представленным на рис. 1 и 2.

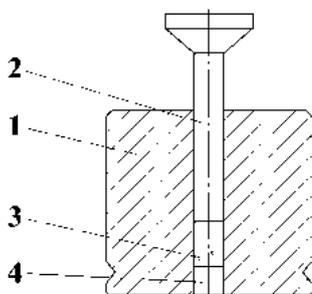


Рис. 1. Пресс-форма для компактирования порошков на башенном копре Instron CEAST 9350:
1 – матрица; 2 – верхний пуансон;
3 – порошок; 4 – нижний пуансон

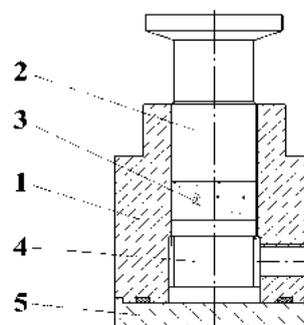


Рис. 2. Пресс-форма для компактирования порошков на башенном копре ЮУрГУ:
1 – матрица; 2 – верхний пуансон;
3 – порошок; 4 – нижний пуансон;
5 – основание

Эксперименты и результаты

В ходе проведения экспериментов исследовалось влияние энергии и скорости удара, количества ударов, а также массы падающих частей на плотность цилиндрических образцов.

В серии опытов на газогидравлическом прессе марки НУР 35-18 цилиндрические получали образцы диаметром $d_{\text{п}} = 50$ мм, высотой $h_{\text{п}} = 8 \dots 13$ мм, массой $M_{\text{п}} = 41$ г. Энергия удара $E_{\text{б}}$ изменялась в диапазоне 212...2247 Дж, что соответствовало изменению скоростей удара $V_{\text{б}}$ в диапазоне 1,10...3,58 м/с, при постоянной массе падающих частей $M_{\text{б}} = 350$ кг.

На башенном копре Instron CEAST 9350 получали образцы $d_{\text{п}} = 10$ мм, $h_{\text{п}} = 13 \dots 17$ мм, $M_{\text{п}} = 1,6 \dots 1,8$ г из композиции состава № 2 (см табл. 1). Ставилось 2 серии опытов. В первой серии масса падающих частей задавалась постоянной, $M_{\text{б}} = 5,1$ кг, энергия удара $E_{\text{б}}$ изменялась в диапазоне 2,5...54,4 Дж, скорости удара $V_{\text{б}}$ варьировались в пределах 1,0...4,6 м/с. Во второй серии скорость удара задавалась постоянной $V_{\text{б}} = 2,0$ м/с, энергия удара $E_{\text{б}}$ изменялась в диапазоне 12,8...36,1 Дж, масса падающих частей $M_{\text{б}}$ изменялась в пределах 5,1...26,6 кг.

На башенном копре ЮУрГУ получали образцы $d_{\text{п}} = 19$ мм, $h_{\text{п}} = 5 \dots 23$ мм, $M_{\text{п}} = 2,5 \dots 10$ г и $d_{\text{п}} = 30$ мм, $h_{\text{п}} = 8 \dots 9$ мм, $M_{\text{п}} = 2,5 \dots 10$ г из композиций составов № 1, 2, 3 (см. табл. 1). Энергия удара $E_{\text{б}}$ менялась в диапазоне 100...580 Дж, скорости удара $V_{\text{б}}$ в пределах 3...7,5 м/с, масса падающих частей оставалась постоянной $M_{\text{б}} = 20,1$ кг.

Навеска порошка заданной массы засыпалась в матрицу и разравнивалась, затем в матрицу устанавливался пуансон и производился удар или серия ударов. В некоторых опытах выполнялась предварительная, до ударов, подпрессовка свободно насыпанного порошка на ручном гидравлическом прессе, давление подпрессовки 155 ± 5 МПа. После компактирования образец извлекался из пресс-формы, измерялись его диаметр, высота с точностью до 0,01 мм, масса с точностью до 0,02 г. Кажущуюся плотность образцов определяли, как отношение объема образца по внешним очертаниям к массе образца.

Данные, полученные в ходе экспериментов, приведены в табл. 4–7.

Таблица 4

Результаты компактирования порошков на основе графита на газогидравлическом прессе НУР 35-18

№	№ смеси	$V_{\text{б}}$, м/с	$E_{\text{б}}$, Дж	$E_{\text{уд}}$, Дж/г	$d_{\text{п}}$, мм	$h_{\text{п}}$, мм	$h_{\text{п}}/d_{\text{п}}$	$M_{\text{п}}$, г	$M_{\text{п}}/M_{\text{б}}$, г/кг	$\rho_{\text{п}}$, кг/м ³
1	1	1,10	212	Образец разрушился						
2		1,50	394	Образец разрушился						
3		2,88	1450	35,23	51,2	12,24	0,239	41,16	0,1176	1630
4		3,29	1892	46,03	51,1	11,95	0,234	41,10	0,1174	1680
5	2	1,50	394	9,57	50,35	12,93	0,257	41,16	0,1176	1600
6		1,90	632	15,32	50,34	12,75	0,253	41,24	0,1178	1620
7		2,16	816	19,83	50,30	12,68	0,252	41,16	0,1176	1630
8		2,40	1008	24,44	50,26	12,38	0,246	41,24	0,1178	1680
9		2,65	1230	29,84	50,24	12,26	0,244	41,22	0,1178	1690
10		2,88	1450	35,21	50,18	12,15	0,242	41,18	0,1177	1720
11		3,08	1657	40,22	50,16	12,08	0,240	41,20	0,1177	1730
12		3,29	1892	45,88	50,15	11,99	0,239	41,24	0,1178	1740
13		3,44	2074	50,34	50,15	11,97	0,239	41,20	0,1177	1750
14		3,58	2247	54,46	50,14	11,84	0,236	41,26	0,1179	1760
15	3	2,88	1450	35,25	50,13	7,97	0,159	41,14	0,1175	2620
16		3,29	1892	45,94	50,10	7,90	0,156	41,18	0,1177	2640
17		3,44	2074	50,34	50,08	7,87	0,157	41,20	0,1177	2660
18		3,58	2247	54,59	50,07	7,83	0,156	41,16	0,1176	2670

Таблица 5

**Результаты компактирования порошков на основе графита
на башенном копре ЮУрГУ. Образцы Ø 19 мм**

№	№ смеси	V_6 , м/с	E_6 , Дж	$E_{уд}$, Дж/г	d_p , мм	h_p , мм	h_p/d_p	M_p , г	M_p/M_6 , г/кг	ρ_p , кг/м ³
1	1	4,89	238,3		Образец разрушился					
2		7,18	520,7	104,5	19,75	11,75	0,595	4,98	0,2371	1383
3	2	4,89	241,9	48,78	19,44	11,12	0,572	4,96	0,2362	1503
4		7,18	515,2	104,2	19,41	11,1	0,572	4,94	0,2352	1504
5	3	4,89	241,9	48,88	19,39	10,54	0,544	4,95	0,2357	1590
6		7,18	515,2	103,4	19,38	10,74	0,554	4,98	0,2371	1572

Таблица 6

**Результаты компактирования порошков на основе графита
на башенном копре ЮУрГУ. Образцы Ø 30 мм. Несколько ударов**

№	V_{61} , м/с	V_{62} , м/с	V_{63} , м/с	E_{61} , Дж	E_{62} , Дж	E_{63} , Дж	d_p , мм	h_p , мм	h_p/d_p	M_p , г	M_p/M_6 , г/кг	ρ_p , кг/м ³
Смесь №1 (табл. 1)												
1	3	4	6	95,0	169,0	380,2	31,05	8,780	0,283	10,00	0,4762	1504
Связующее без наполнителей												
2	6	-	-	380,2	-	-	30,00	5,88	0,196	4,94	0,2352	1189
3	6	-	-	380,2	-	-	29,98	5,86	0,195	4,94	0,2352	1194
Смесь №2 (табл. 1)												
4*	6	-	-	380,2	-	-	30,210	8,670	0,287	9,98	0,4752	1606
5	6	-	-	380,2	-	-	30,310	9,040	0,298	10,00	0,4762	1533
6	3	4	6	95,0	169,0	380,2	30,210	8,860	0,293	10,20	0,4857	1606
7	4	4	4	169,0	169,0	169,0	30,230	8,880	0,294	10,00	0,4762	1569
8	6	4	3	380,2	169,0	95,0	30,220	8,700	0,288	9,98	0,4752	1599
9*	6	4	3	380,2	169,0	95,0	30,190	8,470	0,281	10,20	0,4857	1682
10	6	6	6	380,2	380,2	380,2	30,175	8,485	0,281	9,98	0,4752	1645
11	7	7	7	517,4	517,4	517,4	30,140	8,275	0,275	9,94	0,4733	1684

В опытах, отмеченных *, выполнена подпрессовка свободно насыпанного порошка.

Таблица 7

**Результаты компактирования порошков на основе графита
на башенном копре Instron CEAST 9350. Образцы Ø 10 мм**

№	V_6 , м/с	M_6 , кг	E_6 , Дж	$E_{уд}$, Дж/г	$d_{п}$, мм	$h_{п}$, мм	$h_{п}/d_{п}$	$M_{п}$, г	$M_{п}/M_6$, г/кг	$\rho_{п}$, кг/м ³
Первая серия опытов										
1	1	5,1	2,5	-	-	-	-	-	-	-
2	1,2		3,7	2,18	10,2	17,1	1,676	1,70	0,3333	1266
3	1,4		5,0	3,15	10,3	15,2	1,476	1,62	0,3176	1263
4	1,6		6,6	3,87	10,25	15,65	1,527	1,70	0,3333	1316
5	1,8		8,3	5,21	10,3	16	1,553	1,62	0,3176	1200
6	2,2		12,5	7,78	10,25	15,45	1,507	1,62	0,3176	1255
7	2,6		17,4	12,42	10,25	13,3	1,298	1,42	0,2784	1276
8	3,0		23,2	15,43	10,3	13,8	1,340	1,50	0,2941	1305
9	3,4		29,7	17,49	10,25	15	1,463	1,68	0,3294	1373
10	3,8		37,1	22,65	10,25	14,0	1,366	1,63	0,3196	1420
11	4,2		45,4	28,90	10,3	13,45	1,306	1,58	0,3098	1402
12	4,4		49,8	31,72	10,25	13	1,268	1,58	0,3098	1464
13	4,6		54,4	34,45	10,25	12,9	1,259	1,58	0,3098	1485
Вторая серия опытов										
14	2,0	6,1	12,8	7,97	10,3	14,7	1,427	1,6	0,2623	1307
15	2,0	8,6	16,8	10,85	10,3	13,8	1,340	1,55	0,1802	1349
16	2,0	11,6	21,2	12,40	10,25	14,9	1,454	1,71	0,1474	1392
17	2,0	14,6	24,4	15,35	10,3	13,6	1,320	1,59	0,1089	1404
18	2,0	18,6	28,7	18,13	10,2	13,0	1,275	1,58	0,0849	1488
19	2,0	20,6	31,9	19,81	10,25	13,2	1,288	1,61	0,0782	1479
20	2,0	22,6	34,1	21,34	10,25	13,0	1,268	1,60	0,0708	1492
21	2,0	24,6	31,8	19,76	10,25	12,9	1,259	1,61	0,0654	1513
22	2,0	25,6	35,9	22,05	10,2	13,0	1,275	1,63	0,0637	1535
23	2,0	26,6	36,1	22,39	10,25	13,0	1,268	1,61	0,0605	1502

Обсуждение результатов

Качественный анализ и сравнение данных, полученных при различных параметрах процесса высокоскоростного компактирования, показывает, что результирующая плотность образца увеличивается: при увеличении скорости удара V_6 и удельной энергии компактирования $E_{уд}$, при уменьшении отношения высоты образца к диаметру $h_{п}/d_{п}$ и отношения массы образца к массе падающих частей $M_{п}/M_6$. Такой характер зависимости плотности от указанных параметров сохраняется вплоть до значений удельной энергии 55 Дж/г, при дальнейшем увеличении удельной энергии приводит к слабому возрастанию плотности, либо и вовсе к её уменьшению (см. табл. 5).

При прочих равных условиях, увеличение массы падающих частей M_6 приводит к большему возрастанию плотности образцов, чем увеличение скорости удара V_6 (табл. 7). Можно предположить, что увеличение скорости приводит к уменьшению времени нагружения, а увеличение массы приводит к возрастанию максимального значения давления компактирования.

Применение подпрессовок квазистатическим нагружением и нескольких ударов повышает плотность образцов по сравнению с однократным ударом, при прочих равных условиях (см. табл. 6).

Выводы

Механизмы процесса высокоскоростного компактирования на газогидравлических прессах порошков на основе углерода слабо изучены, однако данный процесс в целом является перспективным, с точки зрения производительности. Особенный интерес представляет компактирование порошков многократными ударами в течение короткого промежутка времени.

Список литературы

1. О динамическом прессовании коксо-пековой шихты / Н.Н. Шипков, В.П. Переверзентцев, А.Ф. Павлючков и др. // Сб. научн. тр. НИИГрафит «Конструкционные материалы на основе графита». М.: Metallurgiya, 1970. № 5. С. 32 – 36.
2. Höganäs promotes potential of high velocity compaction // Metal Powder Report. 2001. V.56. Issue 9. P. 6.
3. Skoglung P. High density PM parts by high velocity compaction // Powder metallurgy. 2001. V. 44. Issue 3. Pp. 199-201.
4. Skoglung P., Keizelman M., Hauer J. HVC punches PM to new mass production limits // Metal Powder Report. 2002. V.57. Issue 9. Pp. 26-31.
5. Berglund T., Olsson M. High velocity compaction and sintering of satellite 12 powders. Triple Steelix Swedish. Project No 87810. 2008.
6. Souriou D., Goeuriot P., Bonnefoy O. and others Comparison of conventional and HVC of alumina powders. Extended abstracts. 11th International Ceramics Congress and 4th Forum on New Materials, Acireale (Sicily, Italy). 2006.
7. Wang J.Z., Qu X.H., Yin H.Y. and others. High velocity compaction of electrolytic copper powder. // The Chinese journal of nonferrous metals. 2008. V.18. Issue 8. Pp. 1498-1503.
8. Wang J.Z., Yin H.Q., Qu X.H. and others. Effect of multiple impacts on high velocity pressed iron powder. // Powder Technology. 2009. V.195. Pp. 184-189.
9. Wang J.Z., Yin H.Q., Qu X.H. and others. High velocity compaction of ferrous powder // Powder Technology. 2009. V.192: Pp. 131-136.
10. Исследование формирования субмикроструктурной структуры поверхностного слоя стальной проволоки с целью повышения уровня ее механических свойств / Г.С. Гун, М.В. Чукин М.В., 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.
11. Особенности реологических свойств конструкционных наносталей / М.В. Чукин, Г.С. Гун, М.П. Барышников, Р.З. Валиев, Г.И. Рааб // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2008. № 1 (21). С. 24-27.
12. Samodurova M.N., Barkov L.A., Ivanov V.A. and others. Static and high-energy shaping of carbon-based powder composites // Metallurgist. 2012. № 1. Pp. 87-91.

References

1. Shipkov N.N., Pereverzentsev V.P., Pavlyuchkov A.F. et al. On the dynamic compaction pitch coke charge [Collection of scientific articles «Structural materials based on graphite»]. Moscow, Metallurgiya, 1970, No 5. Pp. 32–36.
2. Höganäs promotes potential of high velocity compaction // Metal Powder Report. 2001. V.56. Issue 9. P. 6.
3. Skoglung P. High density PM parts by high velocity compaction // Powder metallurgy. 2001. V. 44. Issue 3. Pp. 199-201.
4. Skoglung P., Keizelman M., Hauer J. HVC punches PM to new mass production limits // Metal Powder Report. 2002. V.57. Issue 9. Pp. 26-31.

5. Berglund T., Olsson M. High velocity compaction and sintering of satellite 12 powders. Triple Steelix Swedish. Project No 87810. 2008.
6. Souriou D., Goeuriot P., Bonnefoy O. and others Comparison of conventional and HVC of alumina powders. Extended abstracts. 11th International Ceramics Congress and 4th Forum on New Materials, Acireale (Sicily, Italy). 2006.
7. Wang J.Z., Qu X.H., Yin H.Y. and others. High velocity compaction of electrolytic copper powder. // The Chinese journal of nonferrous metals. 2008. V.18. Issue 8. Pp. 1498-1503.
8. Wang J.Z., Yin H.Q., Qu X.H. and others. Effect of multiple impacts on high velocity pressed iron powder // Powder Technology. 2009. V.195. Pp. 184-189.
9. Wang J.Z., Yin H.Q., Qu X.H. and others. High velocity compaction of ferrous powder // Powder Technology. 2009. V.192. Pp. 131-136.
10. Investigation of forming the carbon wire surface layer submicrostructure for enhancing its mechanical properties / G.S. Gun, M.V. Chukin, D.G. Emaleyeva, N.V. Koptseva, Yu.Yu. Efimova, M.P. Baryshnikov // Vestnik of Nosov Magnitogorsk state technical university. 2007. № 3 (19). Pp. 84-86.
11. Peculiarities of construction steels reological properties / M.V. Chukin, G.S. Gun, M.P. Baryshnikov, R.Z. Valiev, G.I. Raab // Vestnik of Nosov Magnitogorsk state technical university. 2008. № 1 (21). Pp. 24 – 27.
12. Samodurova M.N., Barkov L.A., Ivanov V.A., and others Static and high-energy shaping of carbon-based powder composites // Metallurgist 2012. № 1. Pp. 87-91.

УДК 621.77

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТЬЮ ПОВЕРХНОСТИ ГОРЯЧЕКАТАНОЙ ТРАВЛЕННОЙ ЛЕНТЫ В ПРОЦЕССЕ ЕЕ ДРЕССИРОВКИ

Голубчик Э.М., Телегин В.Е., Хамутских К.С., Ильина Н.Н.

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

Значительную долю современного рынка занимает металлопродукция, обладающая глубокой степенью переработки, к которой можно отнести стальную ленту. В отечественной практике одним из лидеров по производству стальной ленты является ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», который представлен широким спектром размерно-марочного сортамента производимой горячекатаной травленной и холоднокатаной ленты, включая упаковочную, а также ленту из высокоуглеродистых и легированных марок стали [1, 2].

В последнее время все большую востребованность приобретает горячекатаная травленная стальная лента с особыми требованиями к поверхности, в частности, с регламентированной микротопографией поверхности. Это связано с новыми тенденциями в технологиях ее переработки, как в отечественном, так и зарубежном производстве, а также с совершенствованием процессов штамповки и нанесения современных покрытий на металлопродукцию. Кроме того, замещение холоднокатаной ленты горячекатаной травленной с нормируемой шероховатостью поверхности обусловлено также экономическими причинами. Причем данная линия реализуется мировыми производителями проката в направлении механических свойств и геометрических характеристик. При этом все более возрастают требования потребителей и к качеству поверхности горячекатаного травленного проката [3]. Для этого ведущими предприятиями используются различные системы очистки поверхности горячекатаного проката: травление, пескоструйная очистка, дробеструйная обработка, очистка гидросмесьями и т.д. Предлагаемые на современном рынке инженерные системы очистки горячекатаного металлопроката позволяют достигать требуемого качества поверхности, не только очищен-

ной от окалины, но и управлять параметрами ее микротопографии. В научно-технической литературе имеются лишь отдельные исследования и публикации, отражающие специфику и влияние технологических факторов изготовления стальной горячекатаной травленной ленты с нормируемой шероховатостью поверхности.

В исследуемом процессе формирование шероховатости поверхности горячекатаной травленной полосы осуществляется в процессе ее прохождения через систему двухклетевого непрерывного прокатно-дрессировочного стана 630 (НПДС 630) ОАО «ММК». Для реализации способов управления шероховатостью поверхности горячекатаной травленной ленты в условиях НПДС 630 был проведен комплекс исследований по оценке влияния технологических режимов дрессировки с учетом исходного уровня шероховатости поверхности горячекатаной полосы.

Среди влияющих факторов в рамках экспериментальных исследований в условиях НПДС 630 были приняты следующие:

- относительное обжатию при дрессировке;
- исходная шероховатость поверхности горячекатаного травленного подката;
- сортаментная группа горячекатаного травленного подката.

Очевидно, что воздействие на исследуемый показатель шероховатости R_a оказывает также вид поверхности применяемых рабочих валков, а также скоростной режим работы НПДС 630. Однако для чистоты проводимого эксперимента при дрессировке травленной ленты использовались шлифованные валки с гладкой поверхностью ($R_{a2,5} < 0,8$ мкм), при этом для обеспечения стабильного процесса дрессировки производилась на скоростях 5 - 8 м/с.

Стоит отметить, что в процессе проведения экспериментальных исследований производилась оценка изменчивости механических, геометрических характеристик ленты и уровня дефектности ее поверхности. Это обусловлено необходимостью определения границ возможных технологических воздействий при дрессировке, направленных на достижение требуемых параметров микротопографии при сохранении (улучшении) уровня качества ленты в целом.

Что касается сортаментных групп, то исследуемый марочный сортамент ЛПЦ № 8 был разделен на 3 условных категории (см. таблицу) по прочностным характеристикам. Исследуемые марки стали отражают максимально возможный номенклатурный ряд для возможного заказа потребителем, включая аналоги, обозначаемые в соответствии с нормами международных и национальных стандартов.

Марки стали по прочностным характеристикам

Категория прочности подката	Марки стали	Временное сопротивление разрыву, МПа
1	08Ю; 08кп; 08пс; DC01-04;	до 400
2	Ст1-4; 10-70, 18ЮА, 07ГБЮ, 10ЮА,	401 – 600
3	30Г2, 30-70; 65Г, CS60	от 601

Методика проведения эксперимента заключалась в следующем. Горячекатаные травленные рулоны, предназначенные для прокатки в условиях пятиклетевого непрерывного прокатного стана 630, передавались на участок задачи НПДС 630. Далее осуществлялась задача металлопроката на стан с последующей дрессировкой.

При проведении эксперимента производился отбор проб для подготовки образцов на испытания механических характеристик и для проведения замеров микротопографии поверхности (рис. 1). Отбор проб для определения механических характеристик осуществлялся до и после процесса редуцирования полосы в линии НПДС 630. Замеры шероховатости аналогично производились до и после технологического воздействия рабочих валков на поверхность ленты. Кроме того, изменяя параметры относительного обжатия от 0,5 до 2,5 % по

длине рулона, с выходом на новую его величину (примерно каждые 50 м) производилась оценка показателя R_a переносным прибором Surtronic 25. Замер шероховатости поверхности образцов производился на стационарном приборе Профилограф-профилометр HOMMEL-TESTER T8000. Испытания по определению параметра шероховатости R_a проводились на образцах ленты толщиной 2,0 – 4,5 мм из марок стали: 08Ю, 08пс/кп, 10, 10пс, DC01, Ст1-3, 07ГБЮ, 20 - 70, 65Г, 30Г2 и т.д. Варьирование относительных обжатий производилось от меньшего к большему и наоборот, что продиктовано необходимостью оценки изменчивости механических свойств при различных обжатиях в процессе дрессировки.

Таким образом, были проведены исследования формирования показателя шероховатости R_a поверхности травленной ленты в зависимости от относительного обжатия, выделенной категории прочности, а также исходной шероховатости подката.

По результатам исследований были сделаны следующие выводы:

- с увеличением относительного обжатия при дрессировке шлифованными рабочими валками влияние исходной шероховатости поверхности травленной ленты снижается независимо от ее выделенных категорий прочности;
- с увеличением прочностных характеристик ленты при ее дрессировке шлифованными рабочими в рамках конкретных деформационных режимов отмечен рост влияния исходной шероховатости поверхности травленного подката;
- для выделенных категорий прочности ленты достаточное для нивелирования влияния исходной шероховатости травленного подката относительное обжатие различно.

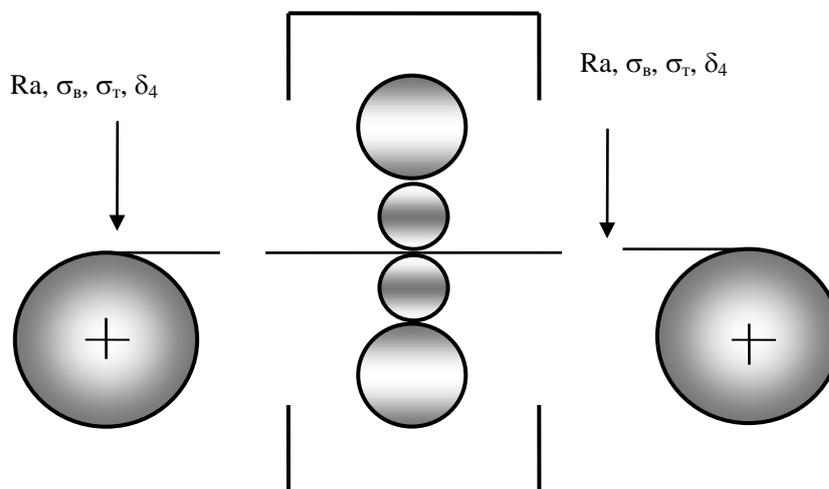


Рис. 1. Схема отбора образцов для испытаний механических свойств и мониторинга шероховатости поверхности R_a

Проведенные дополнительные исследования позволили установить, что значения шероховатости R_a нижней поверхности травленной ленты имеют больший порядок, чем верхней. Приращение по среднему значению составляет $\Delta R_a = 0,3 - 0,5$ мкм в зависимости от исследуемой ленты и особенностей ее производства.

На **рис. 2** приведены распределения величин шероховатости поверхности R_a для первой категории (см. **таблицу**) горячекатаной травленной ленты при дрессировке шлифованными рабочими валками с относительным обжатием $\varepsilon = 1\%$ при исходном уровне шероховатости травленного подката $R_a 1,7 - 2,1$ мкм.

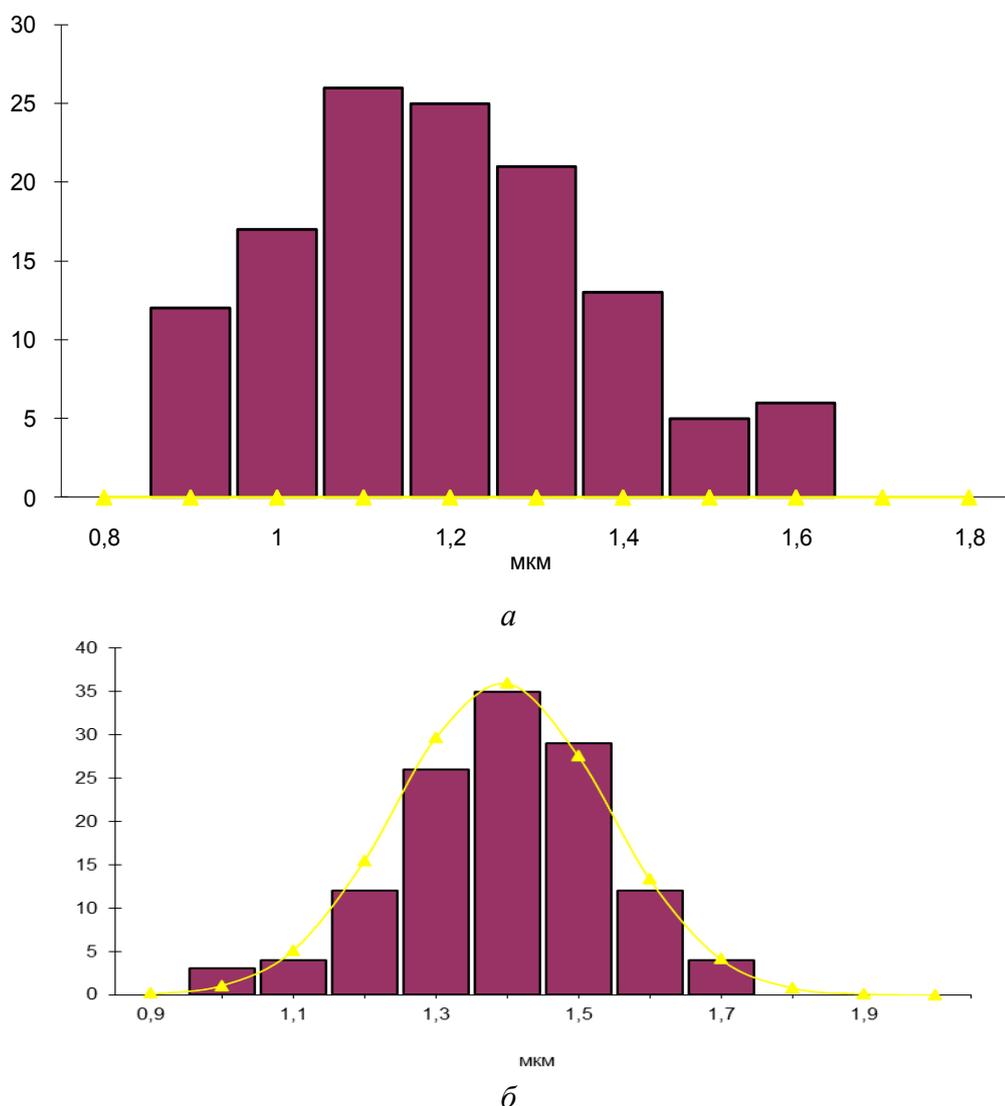


Рис. 2. Распределение значений шероховатости поверхности Ra на верхней (а) и нижней (б) поверхностях травленной дрессированной ленты

Для остальных случаев сочетания влияющих факторов построены аналогичные распределения, произведена оценка их влияния (рис. 3).

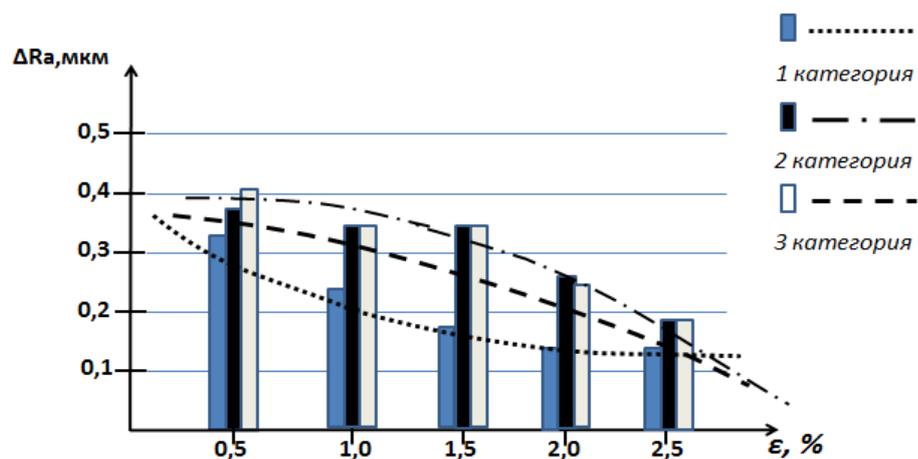


Рис. 3. Влияние относительного обжатия на неравномерность Ra между нижней и верхней поверхностями ленты для различных ее категорий

Анализ результатов исследований позволил сформулировать следующее:

1. Влияние исходной шероховатости травленого подката на формирование минимально возможного различия величин шероховатости верхней и нижней поверхностей дрессированной ленты незначительно.

2. С увеличением относительного обжата при дрессировке шлифованными рабочими валками отмечено снижение различия величин шероховатости верхней и нижней поверхностей дрессированной ленты независимо от выделенных категорий прочности ленты (см. рис. 3).

4. Рост относительного обжата при дрессировке шлифованными рабочими валками способствует стабилизации значений шероховатости в пределах исследуемой поверхности ленты.

Также в процессе исследования влияния деформационных режимов дрессировки на формирование шероховатости поверхности R_a травленой ленты производилось изучение неравномерности распределения значений данного показателя по длине рулона. Для оценки наиболее неравномерной структуры распределения шероховатости по длине рулона дрессировка осуществлялась с минимальным относительным обжатием 0,5 %. При этом для различных категорий ленты были подобраны травленные рулоны с неодинаковым исходным уровнем шероховатости полосы. Результаты исследований представлены на рис. 4.

Можно заметить, что из полученных графических отображений влияния выделенных факторов, распределение шероховатости поверхности по длине полосы имеет относительно равномерный вид. Разброс величин показателя R_a в пределах полосы достигает 0,3, 0,3 и 0,5 мкм для 1, 2 и 3 категории ленты, соответственно. С увеличением относительного обжата свыше 0,5 % для ленты различных категорий разброс значений шероховатости полосы по ее длине будет уменьшаться, при этом максимальная интенсивность характерна для ленты 1 категории прочности, минимальная – для 3 категории.

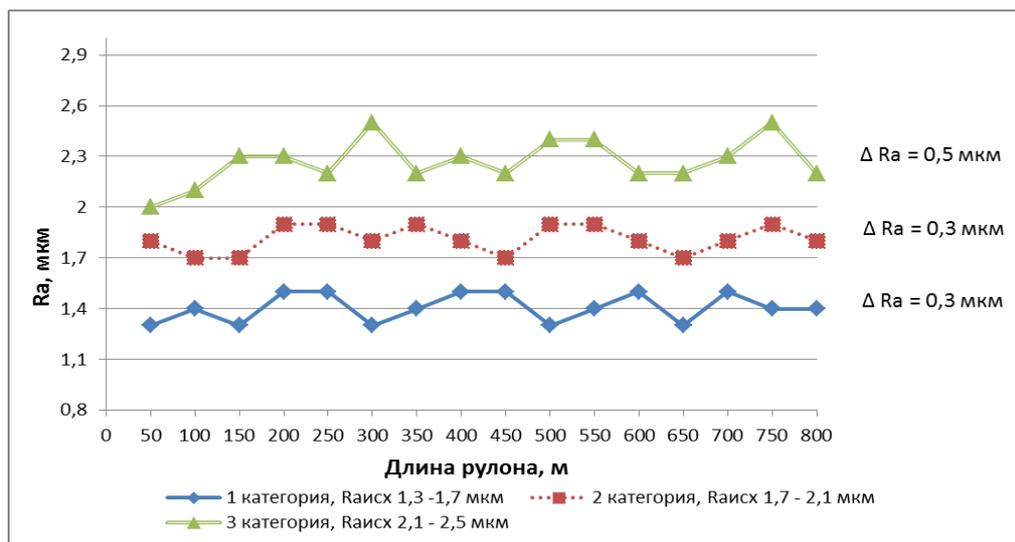


Рис. 4. Шероховатость поверхности R_a по длине рулона для различных категорий ленты и уровней ее исходной шероховатости $R_{a_{исх}}$

Анализируя полученные совокупные результаты, можно сделать следующие выводы.

Влияние относительного обжата в исследуемых диапазонах на изменение показателей механических свойств ленты для выделенных категорий ее прочности незначительно, исключением является только показатель предела текучести для ленты 1 и 2 категорий прочности. Для данных видов ленты при относительном обжатии 2,0 – 2,5 % наблюдается его увеличение на ~ 40-50 и ~20-35 МПа, соответственно. Использование же меньших деформаци-

онных воздействий не приводит к заметным изменениям. Стоит также отметить, что в случае с лентой 1 категории при относительном обжатии свыше 0,5 % площадка текучести отсутствовала. Для ленты категорий 2 и 3 минимально достаточное обжатие для исключения площадки текучести составило 1 и 1,5 %.

Проведенные комплексные исследования подтвердили принципиальную возможность управления параметрами микротопографии поверхности горячекатаной травленной ленты в процессе ее дрессировки, а также возможность обеспечения нормируемых показателей шероховатости Ra обеих поверхностей дрессированной ленты в заданных интервалах.

Список литературы

1. Куницын Г.А., Голубчик Э.М., Смирнов П.Н. Возможности оперативного управления поперечной разнотолщиной в процессе холодной прокатки ленты из стали повышенной прочности // *Сталь*. 2009. № 10. С. 58-60.
2. Особенности производства горячекатаной травленной ленты с управляемой шероховатостью поверхности / В.Л. Корнилов, В.Е. Телегин, П.Н. Смирнов, В.Д. Яхонтов, Э.М. Голубчик // *Сталь*. 2012. № 2. С. 51.
3. Metallurgy qualimetry theory design and development / 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.

References

1. Kunitsyn G.A., Golubchik E.M., Smirnov P.N. Operational control possibilities of transverse gage interference in cold rolling strip steel process // *Steel*. 2009. № 10. pp. 58-60.
2. Production peculiarities of hot rolled pickled strip with controlled surface roughness / V.I. Kornilov, V.E. Telegin, E.M. Golubchik, P.N. Smirnov, V.D. Yahontov // *Steel*. 2012. № 2. P. 51.
3. Metallurgy qualimetry theory design and development / 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.

УДК 621.771

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРУГОГО ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ВОЛОЧЕНИИ

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

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

Из производственной практики известно, что диаметр калиброванной стали после волочения несколько больше диаметра калибрующей зоны волокна в ненагруженном состоянии вследствие явления упругого последействия металла. Для определенных сочетаний технологических факторов процесса волочения величина упругого последействия металла сопоставима с полем допуска на качества точности. В промышленных условиях задача обеспечения заданного качества точности калиброванной стали осложняется тем, что в научно-технической литературе еще нет необходимых обобщений материалов и методик по вопросу количественной оценки величины упругого последействия металла в зависимости от технологических факторов процесса волочения. Это затрудняет

проектирование и реализацию режимов производства калиброванной стали с высокой точностью размеров.

Для исследования влияния характера и величины возникающих напряжений на упругое последствие металла в программном комплексе DEFORM 3D проведено моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) в очаге деформации, при различных значениях технологических факторов.

Задача расчёта НДС решалась в цилиндрической системе координат, и сводилась к построению сетки конечных элементов, не противоречащей граничным условиям. Модель стальной заготовки состояла из 150000 элементов, 26000 поверхностных многоугольников и 28000 узлов, модель волокна состояла из 280000 элементов, 80000 поверхностных многоугольников и 68000 узлов. Контакт заготовки и волокна задавался в поверхностных узлах элементов. В области контакта шаг сетки намеренно уменьшали в 4 раза.

Изменение механических свойства стали при волочении описывали зависимостью типа $\sigma_s = \sigma_0 + a \cdot \varepsilon^n$, где σ_0 - начальный предел текучести, a и n – коэффициенты, полученные в результате аппроксимации реальных кривых упрочнения материалов.

В результате моделирования получили эпюры распределения радиальных и полных напряжений в очаге деформации, а также распределение скорости деформации в радиальном направлении при различных значениях степени деформации, коэффициента контактного трения, угла конуса и длины калибрующей зоны волокна, начального предела текучести и диаметра калибруемой стали. Из полученных эпюр распределения радиальных σ_r напряжений на поверхности металла в зависимости от технологических факторов процесса волочения можно наблюдать два пика растягивающих радиальных напряжений, на входе и выходе прутка из волокна. Первый пик растягивающих радиальных напряжений, наблюдаемый у входа прутка в волоку, появляется вследствие небольшого наплыва металла на волоку в виде волны, второй пик – соответствует упругому последствию металла при выходе из калибрующей зоны волокна (рис. 1, 2). Наибольшее увеличение растягивающих радиальных напряжений, и как следствие значений относительного упругого последствия металла наблюдается с ростом степени деформации и начального предела текучести калибруемой стали. При этом наиболее интенсивный рост растягивающих радиальных напряжений наблюдается при изменении степени деформации в диапазоне от 0 до 10 %, затем величина растягивающих радиальных напряжений практически не изменяется.

С увеличением длины калибрующей зоны волокна интенсивность растягивающих радиальных напряжений на поверхности прутка снижается до значения $l_k / d_k = 0,1$. После дальнейшего увеличения длины калибрующей зоны значения растягивающих радиальных напряжений практически не изменяются. С увеличением диаметра калибруемой стали, при одинаковой степени деформации, величина растягивающих радиальных напряжений пропорционально возрастает. Увеличение коэффициента трения и угла рабочего конуса волокна также увеличивают величину растягивающих радиальных напряжений, что является следствием возрастания неравномерности НДС в очаге деформации.

В результате моделирования была получена зависимость величины упругого последствия металла от растягивающих радиальных напряжений на поверхности прутка

$$\lambda = d_1(0,0052 \cdot \frac{\sigma_r}{\sigma_0} + 0,0014), \quad (1)$$

где d_1 – диаметр калиброванной стали, мм; σ_r – величина растягивающих радиальных напряжений на поверхности стали, МПа; σ_0 – начальный предел текучести калибруемой стали, МПа.

В процессе волочения калиброванной стали волокна работает в тяжело нагруженных условиях, испытывая большие распорные усилия, и упруго деформируется. Для определения влияния упругой деформации волокна на точность размеров калиброванной стали в системе DEFORM 3D было проведено моделирование.

Силую схему нагружения волокна задавали с помощью приложения в поверхностных узлах элементов вектор-силы. Величина натяга обоймы принималась равной 0,02 мм. Распределение деформаций волокна в радиальном направлении при различных значениях степени деформации при волочении изображено на **рис. 3**.

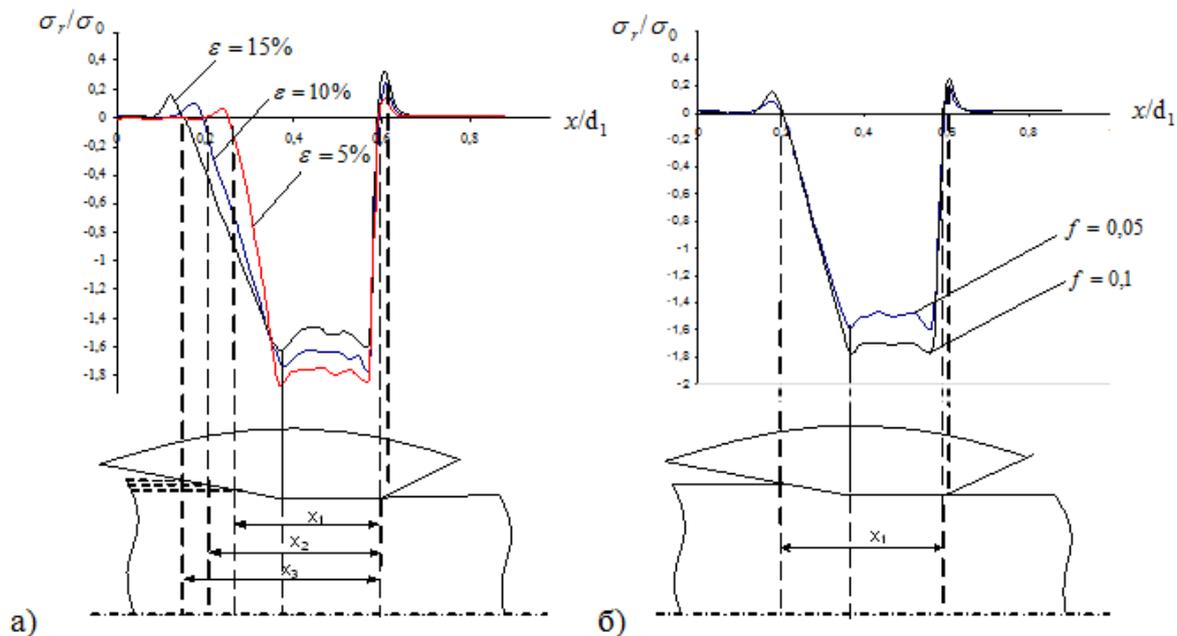


Рис. 1. Эпюры распределения радиальных σ_r напряжений на поверхности прутка в зависимости от технологических факторов процесса волочения:
а – степени деформации; **б** – коэффициента трения

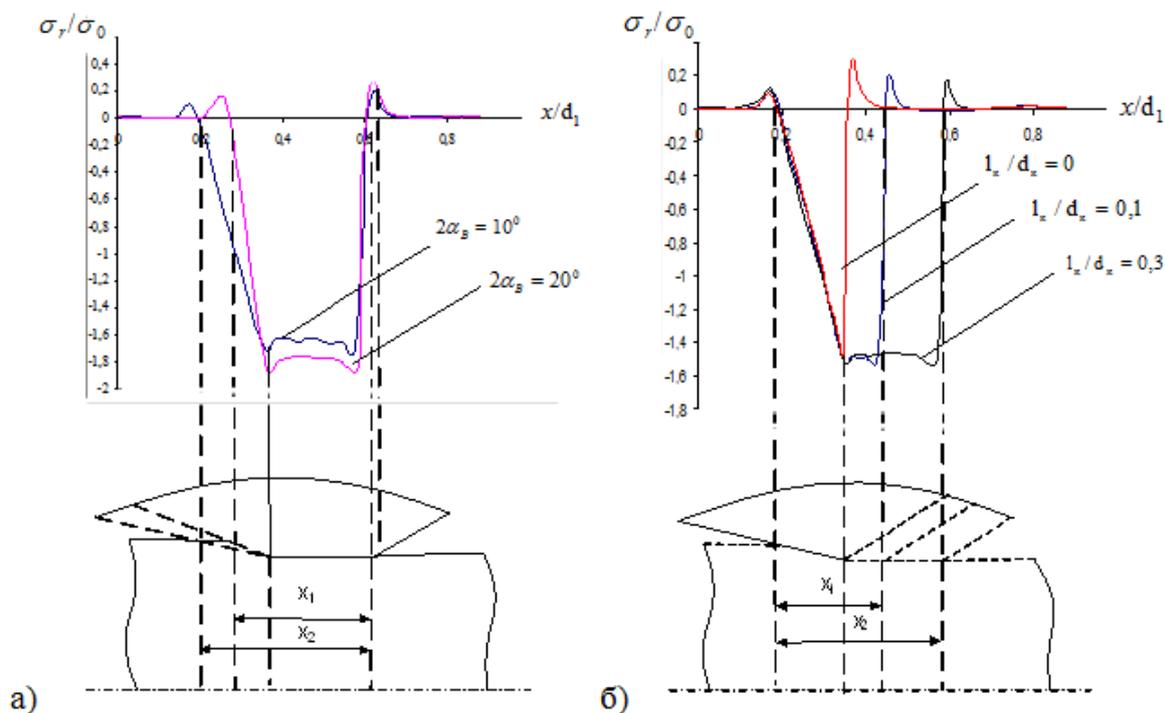


Рис. 2. Эпюры распределения радиальных σ_r напряжений на поверхности прутка в зависимости от технологических факторов процесса волочения:
а – угла конуса волокна; **б** – длины калибрующей зоны волокна

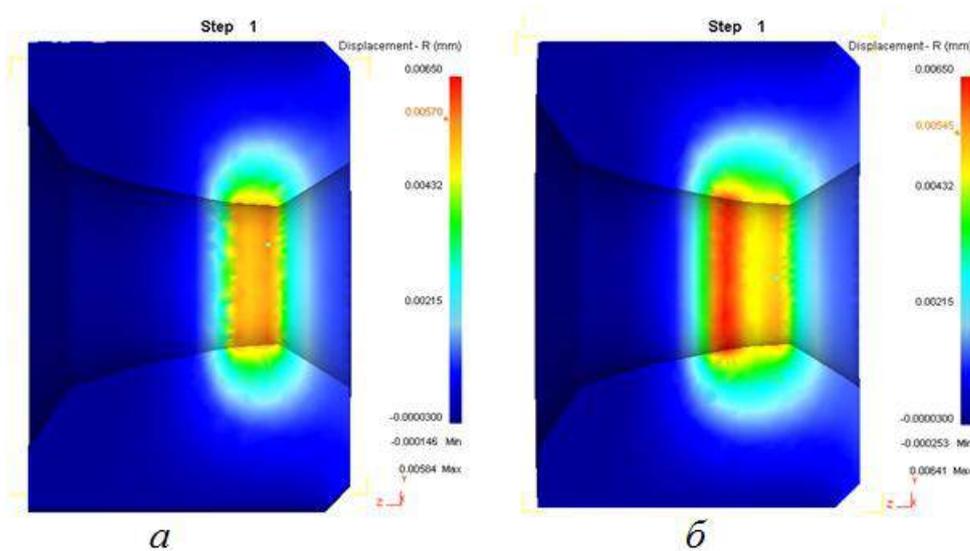


Рис. 3. Распределение деформаций волокни в радиальном направлении при значениях степени деформации калиброванной стали: а - 5 % ; б – 15 %

В результате моделирования была получена зависимость упругой деформации волокни в области калибрующей зоны от среднего значения сопротивления деформации металла σ_{Scp} и относительной длины калибрующей зоны волокни $\frac{l_K}{d_K}$ (см. таблицу).

Зависимость упругой деформации волокни от сопротивления металла деформации σ_{Scp} и относительной длины калибрующей зоны волокни $\frac{l_K}{d_K}$

$\frac{l_K}{d_K} \backslash \sigma_{Scp}$	0,5	0,45	0,4	0,3	0,2	0,1
300	0,0013	0,0017	0,0021	0,0025	0,0028	0,0031
400	0,0019	0,0023	0,0026	0,0030	0,0033	0,0035
500	0,0025	0,0028	0,0031	0,0035	0,0037	0,0039
600	0,0029	0,0032	0,0035	0,0039	0,0041	0,0044
700	0,0032	0,0035	0,0038	0,0042	0,0044	0,0047
800	0,0035	0,0038	0,0041	0,0045	0,0047	0,0050

В ходе моделирования было установлено, что величина упругой деформации волокни в области калибрующей зоны не превышает 3-8 % от суммарного значения упругого последующего действия металла в процессе волочения калиброванной стали.

Список литературы

1. Корчунов А.Г., Пивоварова К.Г., Ульянов А.Г. Определение параметров волочильного инструмента с учётом деформационной специфики обработки калиброванной стали // Производство конкурентоспособных метизов. Сб. науч. трудов / Под ред. А.Д. Носова. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. Вып. 3. С. 96-103.
2. Ульянов А.Г. Математическая модель для расчёта диаметра калибрующего пояска волокна с учётом обеспечения требуемых предельных отклонений калиброванной стали // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. № 1 (29). С. 43-45.
3. Ульянов А.Г., Корчунов А.Г. Исследование упругого последействия в процессе волочения калиброванной стали // Производство проката. 2011. № 10. С. 38-42.
4. Metallurgy qualimetry theory design and development / 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.
5. 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.
6. 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.

References

1. Korchunov A.G., Pivovarova K.G., Ulyanov A.G. Defining the parameters of the drawing tool, taking into account the specifics of the deformation processing of calibrated steel // Production of competitive hardware. Collection of scientific articles / Ed. by A.D. Nosov. Magnitogorsk: MSTU, 2009. Issue 3. Pp. 96-103.
2. Ulyanov A.G. A mathematical model for calculating the diameter of the girdle sizing dies with a view to ensuring the required tolerances of calibrated steel // Vestnik of Nosov Magnitogorsk state technical university. 2010. № 1 (29). Pp. 43-45.
3. Ulyanov A.G., Korchunov A.G. Investigation of elastic aftereffect in drawing process calibrated steel // Rolled steel production. 2011. № 10. Pp. 38-42.
4. Metallurgy qualimetry theory design and development / 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.
5. Genesis of scientific researches in metal ware quality control / G.S. Gun, I.Yu. Mezin, G.Sh. Rubin, A.A. Minaev, A.E. Nayzabekov, X. Dyja. Vestnik of Nosov Magnitogorsk state technical university. 2014. № 1 (46). Pp. 92-97.
6. Creating the theory and practice of metal ware production / G.Sh. Rubin, M.V. Chukin, G.S. Gun, D.M. Zakirov, I.G. Gun / Ferrous metals. July 2012. Pp. 15-21.

РЕФЕРАТЫ

УДК 621.742.4

Гильманшина Т.Р., Беляев С.В., Баранов В.Н., Королева Г.А., Лыткина С.И., Косович А.А. Развитие теории и практики повышения качества поверхности отливок и слитков за счет применения активированных скрытокристаллических графитов.

В работе проведены исследования и предложены новые технологии изготовления противопригарных покрытий, основывающихся на процессах окисления и активации графитов Красноярских месторождений.

Рис. 7. Табл. 1. Библиогр. 5 назв.

Ключевые слова: скрытокристаллический графит, Красноярские месторождения, подготовка, активация, слитки, золото

УДК 621.771

Семашко М.Ю., Шеркунов В.Г., Чигинцев П.А., Эжк Е.В., Карева Н.Т. Экспериментальное исследование металлических образцов, подвергнутых интенсивной пластической деформации.

Целью исследования было изучение изменения микроструктуры и физико-механических свойств медного сплава под воздействием интенсивной пластической деформации (ИПД). Деформирование осуществлялось посредством способа структурообразования металлов, в основе которого лежат известные операции обработки металлов давлением, такие как осадка, прошивка и обратное выдавливание. После обработки из заготовки получены образцы для микроструктурных исследований, которые показали эффективность исследуемого процесса в целом и способа в частности. Такие выводы были сделаны исходя из значительного изменения микроструктуры заготовки и ее физико-механических свойств. Также показана высокая сходимость результатов математического моделирования с реальным процессом.

Рис. 14. Библиогр. 3 назв.

Ключевые слова: математическое моделирование, интенсивная пластическая деформация, пластическое структурообразование, микроструктурные исследования, микроструктура.

УДК 621.771

Соколов А.А., Пудов Е.А. Производство высокопрочной упаковочной ленты с лакокрасочным покрытием с целью замены ленты зарубежных производителей.

Для расширения сортамента продукции и повышения конкурентоспособности ОАО «ММК-МЕТИЗ» было принято решение об освоении нового вида продукции. В статье рассматривается процесс нанесения лакокрасочного покрытия на стальную высокопрочную упаковочную ленту. Проведены исследования ленты-образца и ленты, изготовленной на ОАО «ММК-МЕТИЗ». Предложены решения по улучшению качества продукции, усовершенствованию технологического процесса и повышению безопасности труда.

Рис. 3. Табл. 4. Библиогр. 7 назв.

Ключевые слова: стальная упаковочная лента, лакокрасочное покрытие, сушка, упаковочная лента.

УДК 621.778

Харитонов В.А., Иванцов А.Б. Повышение эффективности действующих рихтовочных устройств при производстве стальных канатов.

В процессе обработки свитого каната в рихтовальном оборудовании при постепенном снижении уровня остаточных напряжений происходит существенный поворот каната вокруг

своей оси. Изменение плоскости обработки по длине рихтователя в сочетании с поворотом каната может дать неоднозначные результаты по качеству обработки. В статье с целью поиска рациональных технологических параметров процесса рихтовки канатов проанализирована эффективность работы рихтовального оборудования канатных машин. Рассмотрены три варианта работы рихтовки: в одной, двух ортогональных и двух неортогональных плоскостях. Определены диапазоны наиболее эффективной работы рихтовальных устройств рассматриваемых трех вариантов и углы поворота второй плоскости рихтователя, определяющие возможность более полной проработки каната по его окружности.

Рис. 3, Табл. 2. Библиогр. 3 назв.

Ключевые слова: канат, рихтователь, напряжение, поворот каната, угол поворота, прогиб, плоскость рихтовки.

УДК 621.771

Копцева Н.В., Чукин Д.М., Никитенко О.А., Ефимова Ю.Ю., Голубчик Э.М., Ильина Н.Н. Особенности формирования структуры при закалке высокопрочных инварных сплавов с низким температурным коэффициентом линейного расширения

В статье представлены результаты исследования структур и фазового состава, сформированных при закалке высокопрочных инварных сплавов системы Fe-Ni-C с низким коэффициентом линейного расширения и с дополнительным легированием кобальтом, ванадием и молибденом.

Рис. 3. Библиогр. 10 назв.

Ключевые слова: высокопрочные инвары, закалка, структура, легирование, .

УДК 621.771

Гулий М.Ф., Юркова Е.В. Освоение производства арматурной проволоки Вр-1 нестандартных размеров.

Проведен анализ технологического процесса производства проволоки периодического профиля Вр-1 по ГОСТ 6727-80. С целью расширения сортамента выпускаемой продукции и для улучшения качества поверхности проволоки разработана новая конструкция технологического инструмента. Проведен расчет основного и вспомогательного инструмента, что позволило удовлетворить требования потребителя. В результате проделанной работы предприятие имеет постоянные заказы данного вида продукции. Качество продукции полностью удовлетворяет требованиям потребителя по геометрическим, механическим и эксплуатационным свойствам.

Рис. 4. Библиогр. 2 назв.

Ключевые слова: производство проволоки, арматурная проволока, качество поверхности, расчет инструмента.

УДК 621.778

Гурьянов Г.Н. Критерий для оценки эффективности формоизменения в процессе волочения круглого сплошного профиля.

Предложенный критерий рассматривает расходы энергии на формоизменение заготовки и повышение прочностных свойств обрабатываемого материала как полезные, а затраты энергии на преодоление сил контактного трения и противонапряжения, на сдвиговую деформацию в очаге деформации и на его границах признаёт дополнительными и бесполезными.

Рис. 3. Библиогр. 11 назв.

Ключевые слова: критерий, формоизменение заготовки, прочностные свойства, круглый сплошной профиль, расход энергии.

УДК 621.778.014-426

Харитонов В.А., Усанов М.Ю. Сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния проволоки при волочении и радиально-сдвиговой протяжке.

Проволока находит широкое применение в современном мире. Основным промышленным способом производства проволоки является волочение в монолитных волках. В статье приведены моделирования процесса волочения и радиально-сдвиговой протяжки в программном комплексе Deform 3d. Приведен сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния проволоки полученной волочением и радиально-сдвиговой протяжкой. Показано, что при радиально-сдвиговой протяжке происходит перераспределение напряжений.

Рис. 2. Библиогр. 7 назв.

Ключевые слова: проволока, волочение, радиально-сдвиговая протяжка, моделирование, Deform 3d.

УДК 621.771

Барышников М.П., Чукин М.В., Бойко А.Б., Ильина Н.Н. К вопросу выбора критериев разрушения при математическом моделировании процессов обработки давлением в современных программных комплексах.

В работе представлен обзор критериев разрушения, применяемых при математическом моделировании процессов обработки давлением. Даны общая характеристика и области применения.

Рис. 2. Библиогр. 9 назв.

Ключевые слова: критерии разрушения, математическое моделирование.

УДК 621.771

Иванов В.А., Яров Б.А., Шеркунов В.Г. Исследование процесса высокоскоростного компактирования порошковых композиций на основе графита

В статье приведены результаты экспериментальных исследований влияния параметров процесса высокоскоростного компактирования на плотность цилиндрических образцов из порошковых композиций на основе графита. Выявлено, что плотность образцов возрастает при увеличении удельной энергии и скорости компактирования, а так же при уменьшении отношения массы образца к массе падающих частей и отношения высоты образца к диаметру.

Рис. 4. Табл. 7. Библиогр. 12 назв.

Ключевые слова: порошки, высокоскоростное компактирование, плотность, удельная энергия компактирования, графит.

УДК 621.77

Голубчик Э.М., Телегин В.Е., Хамутских К.С., Ильина Н.Н. Исследование возможностей управления шероховатостью поверхности горячекатаной травленной ленты в процессе ее дрессировки

В статье представлены результаты исследований по освоению технологии производства горячекатаной травленной ленты с управляемой топографией поверхности. Рассмотрены особенности процесса формирования шероховатости поверхности травленной полосы в процессе ее дрессировки в условиях цеха ленты ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК»).

Рис. 4. Табл. 1. Библиогр. 3 назв.

Ключевые слова: стальная лента, дрессировка, шероховатость поверхности, качество проката

УДК 621.771

Гун Г.С., Корчунов А.Г., Пивоварова К.Г., Ульянов А.Г. Моделирование упругого последствия металла при волочении.

Методом моделирования в Deform 3D выполнен анализ напряженно-деформированного состояния в очаге деформации при волочении калиброванной стали. Получена количественная оценка радиальных напряжений, возникающих в зоне упругого последствия металла в зависимости от технологических факторов процесса волочения калиброванной стали. Получена зависимость величины упругого последствия металла от растягивающих радиальных напряжений на поверхности калиброванной стали. Получены численные значения величины упругой деформации волокна в радиальном направлении в зависимости от механических свойств обрабатываемого материала и параметров калибрующей зоны.

Рис. 3. Табл. 1. Библиогр. 5 назв.

Ключевые слова: калиброванная сталь, упругое последствие металла, волочение, волокна, моделирование, напряженно-деформированное состояние, очаг деформации.

REPORTS

UDC 621.742.4

Gilmanshina T.R., Baranov V.N., Korolyova G.A., Development of the theory and practice of quality improvement surface ingots and castings due to the use of cryptocrystalline graphite activated

The work carried out research and propose new manufacturing nonstick coatings, based on the oxidation of graphite and activated Krasnoyarsk fields.

Fig. 7. Table. 1. Bibliograf. 5 names.

Keywords: cryptocrystalline graphite, Krasnoyarsk field preparation, activation, ingots, gold/

UDC 621.771

Semashko M.Yu., Sherkunov V.G., Chigintsev P.A., Ekk E.V., Kareva N.T. Experimental investigation of metal samples subjected to severe plastic deformation.

The aim was to study the changes in microstructure and physical and mechanical properties of copper alloy under severe plastic deformation (SPD). Deformation was carried out by the method of structure of metals, which is based on known metal forming operations, such as sediment, firmware and reverse extrusion. After treatment of the workpiece obtained samples for microstructural studies that demonstrated the efficacy of the process under study and the whole process in particular. These conclusions were based on a significant change in the microstructure of the workpiece and its physical and mechanical properties. Also showed high convergence results of mathematical modeling with the real process.

Fig. 14. Bibliograf. 3 names.

Keywords: mathematical modeling, severe plastic deformation, plastic structure formation, microstructural studies, microstructure.

UDC 621.771

Sokolov A.A., Pudov E.A. Production of high-strength packing tape with lacquer coating to replace the tape made by foreign producers

It was decided to assimilate a new product to expand the product mix and enhance the competitiveness of OJSC "MMK-METIZ". The process of lacquer coating the high-strength steel packing tape is discussed in the article. The research of the sample tape and the tape manufactured in OJSC "MMK-METIZ" was done. Solutions to improve the product quality, improve the process and increase the labor safety have been proposed.

Fig. 3. Table 4. Bibliograf. 7 names.

Keywords: steel packing tape, lacquer coating, drying.

UDC 621.778.1.014-426

Haritonov V.A., Ivantsov A.B. Improvement efficiency of operating dressing equipments in the production of steel ropes.

In processing of the dressing rope in the dressing equipment at decrease in size of stress become turn of a rope round its pivot-center. Change of the plane dressing on length of the dressing equipment with the turn rope makes ambiguous quality results of processing. In article for the purpose search rational technological parameters of process dressing rope work efficiency of the dressing equipment is analysed. Three options of work a dressing are considered: in one, two orthogonal and two not orthogonal planes. Ranges of the most effective work are determined: three options of work a dressing and angles of rotation second plane. It will allow making better a rope on its circle.

Fig. 3. Table. 2. Bibliogr. 3 names.

Keywords: rope, dressing, stress, rope turn, angle of rotation, deflection, dressing plane.

UDC 621.771

Kopceva N.V., Chukin D.M., Nikitenko O.A., Efimova Y.Y., Golubchik E.M., Ilyina N.N. Features of structure formation during quenching HIGH-strength Invar alloys with a low temperature coefficient of linear expansion.

The article presents the results of research of the structure and phase composition formed after quenching Invar alloys of Fe-Ni-C system, with additional alloying of cobalt, vanadium and molybdenum.

Fig. 3. Table. 1. Bibliogr. 10 names.

Keywords: High-strength Invar, quenching, structure, temperature coefficient of linear expansion.

UDC 621.771

Guly M.F., Jurkova E.V. Mastering the production of reinforcing wire Bp-1 special sizes.

The analysis of the technological process of periodic profile wire-Time 1 according to GOST 6727-80. To expand the range of products and to improve the quality of the wire surface has developed a new design process tool. The calculation of the basic and auxiliary tools that will meet the demands of the consumer. As a result of this work, the company has standing orders of this product. Quality products fully meet the requirements of the consumer in the geometric, mechanical and performance properties.

Fig. 4. Bibliogr. 2 names.

Keywords: reinforcing wire, anchoring criterion, profiling, profiling rollers periodic profile, punch, technological tool, design tool geometry.

UDC 621.771

Guryanov G.N. Criterion for assessing the efficiency formoizmeneniya in the passage drawn round solid profile.

The proposed criterion considers the energy costs for the forming of preparation and improvement of strength properties of the processed material as useful, and the energy costs of overcoming the contact friction forces and protivostoianie, shear deformation in the deformation zone and on its borders more and useless.

Fig. 3. Bibliogr. 11 names.

Keywords: drawing, wire, plastic deformation, axial stress, energy costs

UDC 621.778.014-426

Haritonov V.A., Usanov M.Yu. Comparative analysis of stress-strain state in wire drawing and radial-shear broach.

The wire is widely used in the world today. The main industrial method of wire production is drawing in monolithic dies. The article presents a process modeling of drawing and radial shear broach in the software package Deform 3d. It is presented a comparative analysis of stress-strain state of the wire obtained by drawing and radial-shear broach. It is shown that in radial-shear broach occurs stress redistribution.

Fig. 2. Bibliogr. 7 names.

Keywords: wire, drawing, radial-shear broach, modeling, Deform 3d

UDC 621.771

Baryshnikov M.P., Chukin M.V., Boiko A.B., Ilyina N.N. To the question of choice of failure criteria for mathematical modeling of pressure treatment in modern software systems.

This article presents an overview of failure criteria used for mathematical modeling of pressure treatment. Presents the general characteristics and applications.

Fig. 2. Bibliogr. 9 names.

Keywords: failure criteria, mathematical modeling, pressure treatment, modern software systems.

UDC 621.771

Ivanov V.A., Yarov B.A., Sherkunov V.G. Study of high-velocity compaction of powder compositions based on graphite.

The article presents the results of experimental studies of the effect of process parameters on the high compaction density of cylindrical samples of powder compositions based on graphite. Revealed that the density of the samples increases with increasing energy density and velocity compaction, as well as a decrease of the mass of the sample to the weight of falling parts and relationships sample height to diameter.

Fig. 2. Table. 7. Bibliogr. 12 names.

Keywords: powders, high-velocity compaction, density, specific energy of compaction, graphite.

UDC 621.771

Golubchik E.M., Telegin V.E., Hamutskih K.S., Ilyina N.N. Research management capabilities surface roughness hot-rolled pickled tape during her training.

The article presents the results of studies on the development of production technology of hot-rolled pickled tape with controlled surface topography. The features of the formation of surface roughness etched bands during her training at the shop floor tape "Magnitogorsk Iron and Steel Works" («MMK»)

Fig. 4. Table. 1. Bibliogr. 3 names.

Keywords: steel tape, training, surface roughness, quality rental

UDC 621.771

Gun G.S., Korchunov A.G., Pivovarova K.G., Ulyanov A.G. Recovery effect simulation of metal when drawing.

Simulation in Deform 3D analyzed the stress-strain state in the deformation at drawing bright steel. A quantitative assessment of the radial stresses in the zone of the elastic aftereffect metal, depending on technological factors calibrated steel drawing process. The dependence of the magnitude of the elastic aftereffect metal strain radial stresses on the surface of bright steel. The numerical values of the extent of elastic deformation in the radial direction of the die, depending on the mechanical properties of the material being processed and the parameters of the gauge region.

Fig. 4. Table. 1. Bibliogr. 5 names.

Keywords: calibrated steel, springback metal, drawing, portage, modeling, stress-strain state, the deformation zone.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Баранов Владимир Николаевич – канд. техн. наук, доц., директор Института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск.

Барышников Михаил Павлович – канд. техн. наук, проф. кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: композиционные материалы, наноматериалы, покрытия. Тел.: (351) 29-84-81. E-mail: arcosmag@mail.ru.

Беляев Сергей Владимирович – д-р техн. наук, доц., зав. кафедрой «Литейное производство» Института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Направление исследований: теория и технология совмещенных процессов литья и обработки металлов давлением. Тел.: 8(391) 213-36-21. E-mail: 24-48-12@mail.ru.

Бойко Артем Борисович – аспирант кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Направление исследований: композиционные материалы, наноматериалы, покрытия. Тел.: (351) 29-84-81. E-mail: boyko.ab@mail.ru.

Гильманшина Татьяна Ренатовна – канд. техн. наук, доц. ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск.

Голубчик Эдуард Михайлович – канд. техн. наук, доц. кафедры машиностроения и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: golub66@mail.ru.

Гулий Марина Фаритовна - инженер-конструктор отдела инструмента технического управления, ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ». E-mail: mfguly@mmk-metiz.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». Тел. раб. 8(3519)23-57-66, 29-85-26. E-mail: mgtu@magtu.ru

Гурьянов Геннадий Николаевич – канд. техн. наук, ООО «Феникс+», г. Белорецк. E-mail: ggnbelorhome@rambler.ru

Ефимова Юлия Юрьевна - канд. техн. наук, доцент кафедры «Машиностроительных и металлургических технологий» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. раб. 8(3519)29-85-12, 29-84-81. E-mail: jefimova78@mail.ru.

Иванов Василий Александрович - старший преподаватель кафедры «Машины и технологии обработки материалов давлением» Южно-Уральского государственного университета. Область научных интересов – обработка давлением порошковых материалов. E-mail: ivanovva@susu.ru.

Иванцов Артем Борисович – аспирант ФГБОУ ВПО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова. Тел.: +7 (3519) 22-12-87. E-mail: art.belor@yandex.ru.

Ильина Наталья Николаевна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Машиностроительных и металлургических технологий» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. раб. 8(3519)29-85-12, 29-84-81.

Карева Надежда Титовна – канд. техн. наук, доцент кафедры Физического металловедения и физики твердого тела. E-mail: karevant@susu.ru.

Копцева Наталья Васильевна - д-р техн. наук, профессор кафедры «Материаловедения и термической обработки металлов» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. раб. 8(3519)29-85-67. E-mail: koptsev2002@mail.ru

Королева Галина Анатольевна - канд. хим. наук, доцент, ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск.

Корчунов Алексей Георгиевич - д-р техн. наук, проректор по международной деятельности, профессор, заведующий кафедрой «Механического оборудования металлургических заводов» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. раб. 8(3519)29-84-08, 22-13-97. E-mail: agkorchunov@mail.ru.

Косович Александр Александрович – аспирант, ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск.

Лыткина Светлана Игоревна - канд. техн. наук, доцент, ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск.

Никитенко Ольга Александровна - канд. техн. наук, доцент кафедры «Машиностроительных и металлургических технологий» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. раб. 8(3519)29-85-12, 29-84-81. E-mail: olganikitenko@list.ru.

Пивоварова Ксения Григорьевна - канд. техн. наук, доцент кафедры «Машиностроительных и металлургических технологий» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Тел. раб. 8(3519)29-85-12, 29-85-26. E-mail: kgpivovarova@gmail.com.

Пудов Евгений Андреевич – канд. техн. наук, заместитель начальника исследовательского центра ОАО «ММК-МЕТИЗ». Тел. раб. 8(3519)36-25-95, сот. 83519093361. E-mail: samokhvalova.vm@mmk-metiz.ru.

Семашко Марина Юрьевна - канд. техн. наук, доцент кафедры «Машины и технологии обработки материалов давлением» Южно-Уральского государственного университета. Сфера научных интересов: разработка технологии и оборудования для получения металлов с наноструктурой, математическое и компьютерному моделирование процессов обработки металлов давлением; e-mail maral979@mail.ru.

Соколов Александр Алексеевич - канд. техн. наук, начальник Центральной заводской лаборатории ОАО «ММК-МЕТИЗ».

Телегин Вячеслав Евгеньевич – аспирант кафедры машиностроительных и металлургических технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет им. Г.И. Носова», ведущий инженер Центральной лаборатории контроля ОАО «ММК». E-mail: ispanec024@yandex.ru.

Ульянов Антон Григорьевич – канд. техн. наук, инженер ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». E-mail: antohaul@rambler.ru.

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

Хамутских Ксения Сергеевна - аспирант ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный университет им. Г.И. Носова». E-mail: azzazel90@mail.ru.

Харитонов Вениамин Александрович – канд. техн. наук, профессор кафедры «Машиностроительных и металлургических технологий» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. раб. 8(3519) 29-84-81. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Чигинцев Павел Андреевич - аспирант кафедры «Машины и технологии обработки материалов давлением» Южно-Уральского государственного университета. Область научных интересов – обработка давлением порошковых материалов. E-mail 4iga90@mail.ru.

Чукин Дмитрий Михайлович – аспирант ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия.

Чукин Михаил Витальевич - д-р техн. наук, проф., первый проректор-проректор по научной и инновационной работе, зав. кафедрой «Машиностроительных и металлургических технологий» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Тел. раб. 8(3519) 29-84-05, 29-85-26. E-mail: chukin@magtu.ru.

Шеркунов Виктор Георгиевич - д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой «Машины и технологии обработки материалов давлением» Южно-Уральского государственного университета. Область научных интересов – обработка материалов давлением. E-mail: sherkunovvg@susu.ru.

Экк Евгений Вальтерович – канд. техн. наук, доцент, заместитель по учебной работе кафедры МиТОМД; сфера научных интересов: исследование и разработка процессов холодной штамповки изделий из различных материалов; e-mail ekkev@susu.ru.

Юркова Екатерина Владимировна – канд. техн. наук, менеджер-руководитель отдела инструмента технического управления, ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ». E-mail: evyurkova@mmk-metiz.ru.

Яров Булат Ажуватович - аспирант кафедры «Машины и технологии обработки материалов давлением» Южно-Уральского государственного университета. Область научных интересов – обработка давлением порошковых материалов. E-mail: bulatyarov@gmail.com.

THE INFORMATION ABOUT AUTHORS

Baranov Vladimir Nikolaevich – PhD in Engineering, assistant professor Siberian federal university, Krasnoyarsk.

Baryshnikov Mikhail Pavlovich - professor, master of science, chair of mechanical engineering and metallurgical technologies Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education «Nosov Magnitogorsk State Technical University». E-mail: arcosmag@mail.ru

Belyaev Sergey Vladimirovich – Doctor of Technical Science, head of the Department “Foundry engineering”, Institute of Non-Ferrous Metals and Materials Science, FSEI HPE «Siberian Federal University, Krasnoyarsk. Research fields: theory and technology of the process of combine rolling and extrusion from the aluminium alloys. Phone: 8(391) 213-36-21. E-mail: 244812@mail.ru.

Boiko Artem Borisovich - post-graduate student chair of mechanical engineering and metallurgical technologies "Nosov Magnitogorsk State Technical University" (NMSTU) (Magnitogorsk, Russia)". E-mail: [boyko.ab@mail.ru/](mailto:boyko.ab@mail.ru)

Chigintsev P.A. - Senior Lecturer, department «Machines and Technologies Treatment of Materials by Pressure» of South Ural State University, the Honored Scientist of Russian Federation.

Chukin Mikhail Vitalevich – Doctor of Technical Science, assistant professor, Vice-Rector for science and innovation, chef of mechanical engineering and metallurgical technologies Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education «Nosov Magnitogorsk State Technical University». Phone: 8(3519) 29-84-04. E-mail: chukin@magtu.ru.

Chukin Dmitri Mihailovich - post-graduate student chair of mechanical engineering and metallurgical technologies "Nosov Magnitogorsk State Technical University". Magnitogorsk, Russia.

Gilmanshina Tatyana Renatovna – PhD in Engineering, assistant professor Siberian federal university, Krasnoyarsk.

Golubchik Eduard Mikhailovich - candidate of Technical Science; Associate Professor, Ph.D in technology, the associate professor of the Mechanical and Metallurgical Process Engineering Department "Nosov Magnitogorsk State Technical University. Magnitogorsk, Russia. E-mail: golub66@mail.ru.

Guly Marina Faritovna - E-mail: mfguly@mmk-metiz.ru.

Gun Gennady Semenovich – Dr. of Sc., prof., advisor of the rector at the State Educational Enterprise of the Higher Professional Education «Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov». E-mail: goun@magtu.ru.

Gurianov Gennadiy Nikolaevich - candidate of Technical Science; Ph.D., LLC "Phoenix +" Beloretsk. E-mail: ggnbelorhome@rambler.ru

Hamutskih Kseniya Sergeevna - post-graduate student chair of mechanical engineering and metallurgical technologies "Nosov Magnitogorsk State Technical University" (NMSTU) (Magnitogorsk, Russia)". E-mail: azzazel90@mail.ru.

Efimova Yulia Yurievna – assistant professor, master of science, chair of mechanical engineering and metallurgical technologies Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education «Nosov Magnitogorsk State Technical University». E-mail: jefimova78@mail.ru.

Ilyina Natalia Nikolaevna - assistant professor, master of science, chair of mechanical engineering and metallurgical technologies Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education «Nosov Magnitogorsk State Technical University».

Ivanov Vassiliy Aleksandrovich - The lecturer of «Machines and Technologies Treatment of Materials by Pressure» department of South Ural State University. The area of scientific interests – treatment by pressure of powder materials. E-mail: ivanovva@susu.ru

Ivantsov Artem Borisovich - candidate of Technical Science, "Nosov Magnitogorsk State Technical University" in Beloretsk. Phone: +7 (3519) 22-12-87, E-mail: art.belor@yandex.ru.

Kharitonov Veniamin Alexandrovich - candidate of Technical Science; Professor, chair of mechanical engineering and metallurgical technologies "Nosov Magnitogorsk State Technical University (NMSTU) (Magnitogorsk, Russia)". Phone: (3519) 29-84-81. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Koptseva Natalia Vasilievna - Doctor of Technical Sciences, Professor «Material Science and Metals and Alloys Heat Treatment» Department, «Nosov Magnitogorsk state technical university», Russia. Phone: 8(3519) 29-85-67. E-mail: koptsev2002@mail.ru.

Koroleva Galina Anatolievna - professor of department, Candidate of Chemical Sciences, Siberian federal university.

Korchunov Alexey Georgevich – D-r of technical science, vice-rector for International Relations, « Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov», Russia. E-mail: agkorchunov@mail.ru.

Kosovich Alexander Aleksandrovich - postgraduate student, Siberian federal university. E-mail: a-herz@mail.ru

Lytkina Svetlana Igorevna - professor of department, Candidate of Engineering Sciences, E-mail: svetka-lisa@mail.ru

Nikitenko Olga Aleksandrovna - assistant professor, master of science, chair of mechanical engineering and metallurgical technologies Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education «Nosov Magnitogorsk State Technical University». E-mail: olganikitenko@list.ru.

Pivovarova Kseniya Grigorevna – assistant professor of department “mechanical engineering and metallurgical technologies” of FSBE of HPE «MSTU», PhD in Technical Sciences. E-mail: kgpivovarova@gmail.com.

Pudov Evgeniy Andreevich – deputy chief of the research center JSC MMK-METIZ, PhD in Technical Sciences. E-mail: samokhvalova.vm@mmk-metiz.ru.

Semashko Marina Yurievna - candidate of Technical Science; department «Machines and Technologies Treatment of Materials by Pressure» of South Ural State University, the Honored Scientist of Russian Federation.

Sherkunov Victor Grigorjevich - The doctor of engineering science, professor, head of department «Machines and Technologies Treatment of Materials by Pressure» of South Ural State University, the Honored Scientist of Russian Federation. The area of scientific interests – treatment by pressure of materials. E-mail: sherkunovvg@susu.ru

Sokolov Aleksandr Alekseevich - candidate of Technical Science

Telegin Vyacheslav Evgenevich - post-graduate student chair of mechanical engineering and metallurgical technologies "Nosov Magnitogorsk State Technical University (NMSTU) (Magnitogorsk, Russia)". E-mail: ispanec024@yandex.ru.

Ulyanov Anton Grigorjevich - JSC "Magnitogorsk Iron and Steel Works", antohaul@rambler.ru.

Usanov Mikhail Yuryevich - Senior Lecturer, Department of Metallurgy and Standardization, the Branch of "Nosov Magnitogorsk State Technical University (NMSTU) (Magnitogorsk, Russia)" in Beloretsk. The direction of research: wire production, methods of severe plastic deformation, radial shear strain. E-mail: barracuda_m@mail.ru.

Jarov Bulat A. - postgraduate of «Machines and Technologies Treatment of Materials by Pressure» department of South Ural State University. The area of scientific interests – treatment by pressure of powder materials. E-mail: bulatyarov@gmail.com

Jurkova Ekaterina Vladimirovna - candidate of Technical Science. E-mail: evyurkova@mmk-metiz.ru.

ЮБИЛЕЙНЫЙ НОМЕР ЖУРНАЛА «ОБРАБОТКА СПЛОШНЫХ И СЛОИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ»

В издательстве ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» вышел в свет сороковой номер журнала «Обработка сплошных и слоистых материалов».

С 1970 по 2013 гг. журнал выходил как межвузовский сборник научных трудов, в котором публиковались результаты исследований, выполненных учеными и специалистами промышленных предприятий: Магнитогорский металлургический комбинат, Белорецкий и Западно-Сибирский металлургический заводы; НИИметиз, ИМет АН СССР. История журнала достаточно яркая, география - обширная.

До 1988 г. сборник печатался в г. Свердловске в издательстве Уральского политехнического университета им. С.М. Кирова и назывался «Теория и практика производства метизов». Первым редактором сборника был заведующий кафедрой «Прокатно-волочильное производство», известный ученый, профессор, докт. техн. наук Г.Э. Аркулис. В редакционную коллегию входили руководители ведущих предприятий металлургической отрасли и известные ученые, в том числе: В.Г. Дукмасов (ЧПИ, г. Челябинск), В.Н. Чернышев (МИСиС, г. Москва), Г.Л. Колмогоров (ППИ, г. Пермь), Б.А. Арефьев (Имет АН СССР, г. Москва), А.К. Григорьев (ЛПИ, г. Липецк), А.А. Богатов (УПИ, г. Свердловск), А.Ф. Пименов (ИМет АН СССР, г. Москва), В.Н. Анциферов (НЦ ПМ, г. Пермь) и др.

С 1989 года сборник стал международным. Редакционный совет сборника возглавил заведующий кафедрой Машиностроительных и металлургических технологий, профессор, доктор технических наук Гун Геннадий Семенович. С этого времени значительно расширилась география авторов публикаций и редакционной коллегии. В сборнике стали печататься авторы из Германии, Болгарии, Молдовы, Армении, Азербайджана, Украины, Беларуси. В состав редакционной коллегии вошли известные специалисты и ученые из разных республик и стран, в том числе – А.А. Минаев - член-корр. НАН Украины, профессор, ректор Донецкого национального технического университета; И.А. Андрейченко – главный металлург ПО «Тракторный завод» (Молдова); Ф. Вебер - магистр (Германия); Г. Костов – генеральный директор «Экомет» (Болгария); Х.И. Иманов – профессор (Азербайджан); Е.Б. Ложечников – профессор (Беларусь) и др.

В 2007 году руководство кафедрой принял профессор Чукин Михаил Витальевич, и он же стал главным редактором журнала, который был включен в наукометрическую базу России РИНЦ. В редакционную коллегию вошли ученые из Польши, Италии.

За все время с 1970 года в сборнике было опубликовано около 1000 статей из более, чем 150 организаций (вузы, фирмы, НИИ, металлургические и метизные заводы России и зарубежья).

**45 ЛЕТ КАФЕДРЕ «МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ
И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ»
МАГНИТОГОРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА ИМ. Г.И. НОСОВА**

В 2014 году кафедре «Машиностроительных и металлургических технологий» (ММТ - бывшая кафедра «Прокатно-волочильное производство» (ПВП) ФГБОУ ВПО «МГТУ») исполнилось 45 лет.

Кафедра ПВП открыта в 1969 году из коллектива преподавателей и сотрудников кафедры «Обработка металлов давлением». Первым возглавил кафедру в 1969-1987 гг. профессор, доктор технических наук Аркулис Григорий Эммануилович. С 1987 по 2007 гг. кафедрой заведовал профессор, доктор технических наук Гун Геннадий Семенович. За это время, в связи с развитием специальностей и специализаций, кафедра стала называться «Машиностроительных и металлургических технологий» (ММТ). С 2007 года по настоящее время кафедру возглавляет профессор, доктор технических наук Чукин Михаил Витальевич.

Со дня открытия на кафедре работали преподаватели, известные в стране и за рубежом по монографиям и методическим разработкам: доктора технических наук, профессора Аркулис Г.Э., Стеблянко В.Л.; кандидаты технических наук Куприн М.И., Дорогобид В.Г., Цун А.М., Голев В.Д., Хайкин С.Н. Позже в коллектив влились Чукин М.В., Мезин И.Ю., вернувшиеся после учебы в Белорусском политехническом институте. После защиты кандидатских и докторских диссертаций они стали одними из ведущих преподавателей кафедры. В 1987 г. с кафедры «Обработка металлов давлением» перешел в коллектив и возглавил его профессор, доктор технических наук Гун Г.С. После объединения с кафедрой «Технология металлов и метизного производства» коллектив пополнился целой плеядой опытных преподавателей. В их числе: профессор, доктор технических наук Никифоров Б.А., кандидаты технических наук Урцева Е.И., Харитонов В.А., Манин В.П., Королев Н.А., Щеголев Г.А., Сусанин З.В., Мустафин Ф.Т. и др.

Из стен кафедры вышли известные специалисты: Дубровский Б.А. – генеральный директор ОАО «ММК», в настоящее время - и.о. губернатора Челябинской области; Морозов А.О. – председатель Городского собрания; Лебедев В.Н. – директор ОАО «ММК-МЕТИЗ», в настоящее время - директор ОАО «МРК»; Зайцева М.В. – заместитель начальника ЦЗЛ; Кузнецов М.Г. - заведующий кафедрой в Белорецком филиале; Сеничев Г.С. – вице-президент ООО «Управляющая компания ММК» по операционной деятельности; Носков Е.П. – заместитель директора; Федоров Р.В. – зам. начальника управления по производству; Коломиец Б.А. – начальник отдела новой техники и научно-технической информации; Румянцев А.Л. – начальник отдела металлоснабжения и др.

В настоящее время на кафедре ММТ все преподаватели имеют ученые степени, 12 опытных специалистов имеют степени доктора и кандидата технических наук, в том числе 6 профессоров: Чукин М.В., Гун Г.С., Дорогобид В.Г., Харитонов В.А., Барышников М.П., Манин В.П.; доцентов: Голубчик Э.М., Полякова М.А., Шубин И.Г., Пивоварова К.Г., Ефимова Ю.Ю., Пыхтунова С.В., Ильина Н.Н., Никитенко О.А.

Кафедра всегда отличалась новаторством, поиском, интересными результатами деятельности, бережным отношением к своей истории и традициям.

1969-1987 гг. (заведующий кафедрой Аркулис Г.Э.) - открыт НИИ биметалла, построен 5-ый лабораторный корпус, открыты новые специализации, разработана

новая теория совместной пластической деформации, начат выпуск межвузовского сборника научных трудов «Обработка сплошных и слоистых материалов».

1987 – 2007 гг. (заведующий кафедрой Гун Г.С.) - впервые в вузе начато сотрудничество с вузами Германии и Чехии по договорам; открыты новые специальности «Порошковая металлургия и композиционные материалы, покрытия», «Стандартизация и управление качеством» и др.; получена первая в вузе Государственная премия Правительства РФ за разработку нового способа получения стальной биметаллической композиции (Стеблянко В.Л., Гун Г.С., Аркулис Г.Э., Люльчак В.И. и др.); открыт диссертационный совет по защите кандидатских и докторских диссертаций по специальности «Стандартизация и управление качеством продукции», единственный в России специализирующийся в металлургии; изданы десятки монографий и книг, продолжен выпуск межвузовского сборника научных трудов, который с 2007 года включен в наукометрическую базу России РИНЦ; с 2003 г. издается журнал «Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова», который в 2007 г. включен в Перечень ведущих журналов, рекомендованный ВАК РФ.

2007 г. – н. вр. (заведующий кафедрой Чукин М.В.) - выполнена объемная работа по внедрению в образовательный процесс новых технологий обучения. Созданы два учебных класса, оснащенных современным мультимедийным оборудованием, среди которых использование Web-технологий для организации удаленного доступа к информационным ресурсам; мультимедийные обучающие программы с использованием компьютерных технологий; сформирован контент для дистанционного просмотра учебных материалов и организации обратной связи.

На кафедре развивается новое научное направление по созданию нанотехнологий и наноматериалов, выигран ряд федеральных конкурсов, в том числе с зарубежными соисполнителями. Создана инфраструктура, обеспечивающая эффективную деятельность научных коллективов: организован Научно-исследовательский институт Наносталей; заключен договор о сотрудничестве с ИФМ УрО РАН (г. Екатеринбург), по которому на предприятиях г. Магнитогорска проводятся обширные исследования и разработка новых наноматериалов совместно с научной группой свердловчан под руководством известного академика РАН В.М. Счастливецова; создана необходимая для дальнейшего развития материальная база; открыта новая специализация «Наноматериалы» специальности 150108 «Порошковые и композиционные материалы, покрытия».

Одним из важных результатов научной деятельности в области нанотехнологий явилось формирование научных направлений и баз реализации проектов. Данные направления сложились в ходе сотрудничества с ОАО «ММК», ОАО «ММК-МЕТИЗ» и ООО «ЗМИ-Профит».

На 17 Московском Международном Салоне изобретений и инновационных технологий «Архимед» решением Международного Жюри Золотой медалью «АРХИМЕД-2014» награждены изобретения «Способы получения длинномерных заготовок с ультрамелкозернистой структурой» (авторы: Чукин М.В., Емалеева Д.Г., Барышников М.П., Полякова М.А.) и «Устройство для изготовления проволоки с ультрамелкозернистой структурой» (авторы: Чукин М.В., Полякова М.А., Голубчик Э.М., Гулин А.Е.).

На протяжении последних лет в рейтинге российских вузов специальность ОМД (две выпускающие кафедры ММТ и ОМД) занимает стабильно 1 место, а специализации – 2-3 места, что говорит об уровне подготовки специалистов кафедры и эффективности ее работы.

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 – 6-8 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 – 14 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**, B&W – для черно-белых иллюстраций, Grayscale – для полутонов. Максимальный размер рисунка с подписью – 150x235 мм. В тексте статьи должны быть подрисовочные 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.