

ОБРАБОТКА СПЛОШНЫХ И СЛОИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

№ 2 (41) декабрь 2014 г.

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

Издается с октября 1970 года

Редакционный совет

Председатель редсовета:

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

Члены редсовета:

А.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

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

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

Выход в свет 29.12.2014. Заказ 897. Тираж 500 экз. Цена свободная

PROCESSING OF SOLID AND LAMINATE MATERIALS

№ 2 (41) Desember 2014

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, Chenshtokhovskiy Technological University, Poland.

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

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

O.N. Tulupov – prof., D.Sc. in engineering, prof., of the metal forming department of FSBI HPE "Nosov Magnitogorsk State Technical University" **I.G. Gun** - director general of CJSC «Belmag», prof., D.Sc. in engineering, chief of SEC «Technologies and constructions of autoparts» FSBI HPI "Nosov Magnitogorsk State Technical University".

Editor-in-chief:

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

Deputy chief editor:

M.A. Polyakova - Assoc. Prof., PhD., 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

Printed in the Printing MSTU area. Publication date: 29.12.2014.

Order 897. Circulation - 500 items. Free price

СОДЕРЖАНИЕ

Сидельников А.С., Сидельников С.Б., Беляев С.В., Лопатина Е.С., Ворошилов Д.С. Применение процесса непрерывного литья и прокатки-прессования для получения изделий из алюминиевых сплавов системы Al-PZM и исследование их свойств.....	5
Чукин М.В., Песин А.М., Полякова М.А., Пивоварова К.Г., Торбус Н., Рыдз Д. Моделирование процесса прокатки биметаллического листа Ti-Ni	10
Харитонов В.А., Лаптева Т.А. Повышение эффективности производства стальных подвижных канатов применением калибрующего обжата прядей.....	13
Чукин М.В., Салганик В.М., Полецков П.П., Бережная Г.А., Гущина М.С., Кузнецова А.С., Алексеев Д.Ю. Анализ технических требований, предъявляемых к наноструктурированному высокопрочному листовому прокату.....	19
Мешкова А.И., Копцева Н.В., Ефимова Ю.Ю., Никитенко О.А., Голубчик Э.М. Влияние положения фокального пятна лазера на формирование структуры и свойств сварных соединений в условиях нового стана холодной прокатки ОАО «ММК».....	28
Голубчик Э.М., Кузнецова А.С., Дья Х. Применение методологии адаптивного управления качеством в процессе объемной холодной штамповки крепежных изделий из стали с ультрамелкозернистой структурой.....	32
Гурьянов Г.Н., Зуев Б.М. Влияние основных параметров деформации на эффективность формоизменения проволоочной заготовки.....	42
Барышников М.П., Никитенко О.А., Ишимов А.С., Ефимова Ю.Ю., Жеребцов М.С. Исследование механизмов разупрочнения в углеродистых сталях при многоцикловой горячей деформации с использованием комплекса физического моделирования Gleeble 3500.....	46
Зайдес С.А., Кургузов С.А., Михайлова У.В. Разработка штамповой оснастки для производства тарельчатых пружин с использованием эластичной матрицы.....	52
Снимщиков С.В., Суриков И.Н., Харитонов А.В., Харитонов В.А. Сравнительный анализ современных требований к арматурному прокату для ненапряженного железобетона.....	56
Паршина А.А. Создание модели процесса получения труб с переменной толщиной стенки.....	59
Бородина Е.Н., Шубин И.Г., Румянцев М.И. Прогнозирование показателей качества канатной проволоки и стальных канатов с использованием математических моделей на основе множественного регрессионного анализа.....	63
Рефераты.....	67
Reports.....	71
Сведения об авторах.....	74
The information about the authors.....	77

CONTENTS

Sidelnikov S.B., Belyaev S.V., Sidelnikov A.S., Lopatina E.S., Voroshilov D.S. Application process of continuous casting and rolling-extruding for obtaining products from aluminum alloys system AL-REM and study of their properties.....	5
Chukin M.V., Pesin A.M., Polyakova M.A., Pivovarova K.G., Torbus N., Rydz D. Simulation of Ti-Ni bimetal composition sheet rolling	10
Kharitonov V.A., Lapteva T.A. Increase efficiency of production the steel movable ropes when applying calibrating compression strands.....	13
Chukin M.V., Salganik V.M., Poletskov P.P., Berezhnaya G.A., Gushchina M.S., Kuznetsova A.S., Alekseev D.Yu. Analysis of technical requirements for nanostructured high strength plate steels.....	19
Meshkova A.I., Kopceva N.V., Efimova Yu.Yu., Nikitenko O.A., Golubchik E.M. The influence of laser focal spot on the formation of microstructure and mechanical properties of welding joints in the conditions of new cold rolling mill of OJSC “MMK”.....	28
Golubchik E.M., Kuznetsova A.S., Dyja H. Application of adaptive quality control methodology for fasteners with ultra- fine grain structure cold bulk forging.....	32
Guryanov G.N., Zuev B.M. Influence of basic parameters of deformation on the effectiveness of wire forming of blanks.....	42
Baryshnikov M.P., Nikitenko O.A., Ishimov A.S., Efimova Yu.Yu., Zherebtsov M.S. Investigation work softening mechanisms in carbon steels during high-cycle hot deformation using physical modelling complex GLEEBLE 3500.....	46
Zaides S.A., Kurguzov S.A., Mikhailova U.V. Design of forging tool set for dish-shaped springs manufacturing using elastic die.....	52
Snimchikov S.V., Surikov I.N., Kharitonov V.A., Kharitonov A.V. Comparative analysis of modern requirements for unstressed concrete reinforcing bars	56
Parshina A.A. Creating a model of process for producing a tubes with variable wall thickness.....	59
Borodina E.N., Shubin I.G., Rumyantsev M.I. Prediction of quality index of cable wire and steel cable using mathematical models based on multiple regression analysis.....	63
Рефераты.....	67
Reports.....	71
Сведения об авторах.....	74
The information about the authors.....	77

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ И ПРОКАТКИ-ПРЕССОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ AL-РЗМ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СВОЙСТВ

Сидельников А.С., Сидельников С.Б., Беляев С.В.,
Лопатина Е.С., Ворошилов Д.С.

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

В последнее время все большее применение находят совмещенные процессы литья и обработки металлов давлением. Одним из наиболее перспективных из них является процесс непрерывного литья и прокатки-прессования. Разработки этого научного направления ведутся учеными института цветных металлов и материаловедения Сибирского федерального университета уже несколько лет [1]. Однако сложность экспериментальной реализации процесса заливки металла во вращающиеся валки, влияние многих факторов на процессы кристаллизации и деформации металла не дают возможности определить параметры оборудования для реализации данной технологии в промышленных условиях.

Анализ научно-технической литературы [2-4] показал, что присутствие редкоземельных металлов (РЗМ) в алюминиевых сплавах ведет к следующим преимуществам: улучшается жаропрочность и термостойкость, увеличивается устойчивость к коррозии, повышается вязкость сплава и механические свойства. Таким образом, содержание РЗМ в сплавах алюминия в значительной мере влияет на механические и электрофизические характеристики металла, что обуславливает актуальность их исследований. Материалами для исследований послужили алюминиевые сплавы с различным содержанием РЗМ (от 0,5 до 7 %). В качестве методов исследований для получения изделий применялись методы совмещенного литья и прокатки-прессования (далее СЛИПП), а для определения их свойств - металлографические методы и статический метод испытания на растяжение.

Целью работы являлось изучение процесса непрерывного литья с использованием двухвалкового кристаллизатора и последующей деформацией металла в валках и матрице для получения изделий из сплавов системы Al-РЗМ и изучения их свойств при изменении химического состава сплавов и различных способах горячей и холодной обработки.

В соответствии с техническим решением [5] (патент РФ № 128529) процесс СЛИПП осуществляется следующим образом (рис. 1). Металл из печи-миксера заливается в закрытый калибр валков, образованный валком с выступом и валком с ручьем. Далее металл кристаллизуется в валках и выдавливается в виде пресс-изделия через матрицу, предварительно получив деформацию обжатия в минимальном зазоре валков.

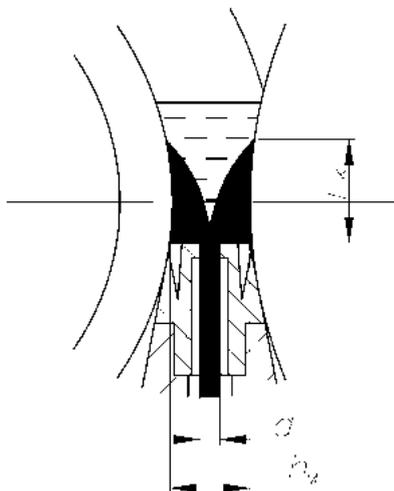


Рис. 1. Схема процесса кристаллизации-деформации металла в валках

На первом этапе исследований анализировали структуру полуфабриката из сплава алюминия, полученного в момент остановки валков, перекрытых на выходе матрицей. Выявлено, что очаг кристаллизации-деформации состоит из следующих зон: 1 – кристаллизации; 2 - захвата металла валками; 3 - максимального обжатия при прокатке; 4 - зоны распрессовки; 5 – выдавливания; 6 - сформировавшегося прутка. Указанные зоны отчетливо выявились при макротравлении и видны на снимке макроструктуры (рис. 2).

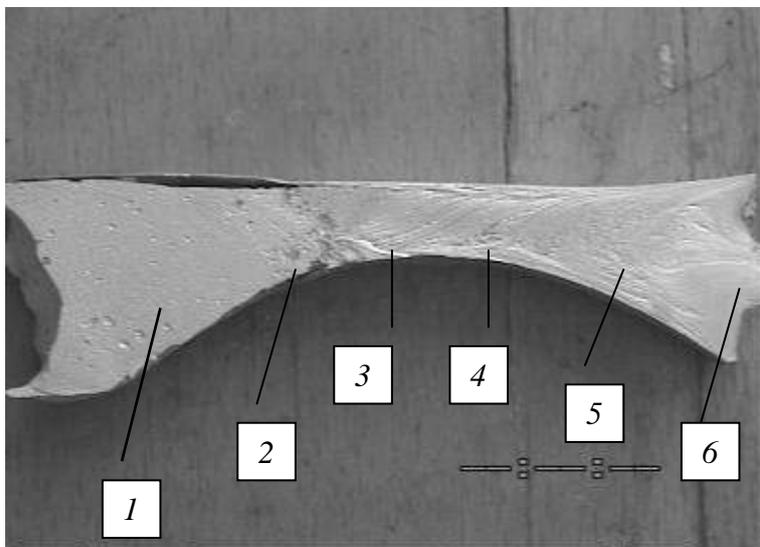


Рис. 2. Макроструктура полуфабриката, полученного литьем в двухвалковый кристаллизатор, перекрытый матрицей: 1 – зона кристаллизации; 2 и 3 - зоны прокатки; 4 - зона распрессовки; 5 - зона выдавливания; 6 - зона сформировавшегося прутка

Структурные изменения, происходящие в получаемой заготовке на всех этапах непрерывного процесса литья и деформирования мелкокристаллического литого металла, полученного при кристаллизации в валковом узле, определяются сочетанием деформационных и предкристаллизационных явлений, развивающихся одновременно и последовательно при горячей деформации. В зоне 1 видно литое строение металла с пористой структурой затвердевшего металла. В наиболее высокотемпературной зоне образца (зона 2) (непосредственно после окончания кристаллизации) деформация на относительно небольшие степени может вызывать динамическую рекристаллизацию, способствующую исключению деформационного упрочнения в зоне захвата и благоприятным условиям течения металла в зоне максимального обжатия при прокатке. Результатом такой горячей деформации является волокнистое строение металла, получаемого на выходе из зоны максимального обжатия (зона 3).

Волокнистое строение в этой зоне еще не является признаком деформированного нерекристаллизованного металла. Температурные условия прокатки в зоне максимального обжатия не позволяют сохранить полностью нерекристаллизованную структуру. Это явление общеизвестно: металл на выходе из прокатных валков в большинстве случаев имеет деформированную, частично рекристаллизованную структуру. Причем, динамическая рекристаллизация развивается непосредственно при деформации, в связи с чем, отдельные рекристаллизованные зерна могут приобретать волокнистое строение и повышенную плотность дислокаций при продолжении деформации заготовки. Волокнистое строение заготовки, наблюдаемое в зоне распрессовки (зона 4), может быть объяснено именно этими явлениями.

Особые условия деформирования, соответствующие зоне выдавливания (зона 5), отвечают объемно-напряженному состоянию, свойственному процессам прессования. При таких

процессах в большинстве случаев сочетанием деформационных, рекристаллизационных и предрекристаллизационных явлений обеспечивается развитие процессов динамической полигонизации, результатом которой становится деформированная устойчивая субзеренная структура материала, предотвращающая развитие рекристаллизации в готовом прутке после окончания деформации и при последующем быстром нагреве до достаточно высоких температур. Конечная структура прутка (зона б) соответствует волокнистому субзеренному строению.

Исследования по реализации процесса непрерывного литья и прокатки-прессования проводились на экспериментальной установке совмещенной обработки, смонтированной на базе прокатного стана ДУО 200, включающего: электродвигатель переменного тока, коробку передач, двухступенчатый редуктор, шестеренную и прокатную клетки (последняя для удобства загрузки заготовки в калибр была повернута на угол 90° и установлена на опору) [1]. После получения прутков диаметром 9 мм методом СЛИПП (см. **рис. 1**) осуществляли холодное волочение прутка до диаметра 2 мм на цепном волочильном стане однократного действия.

Оценку механических свойств экспериментальных сплавов системы Al-PЗМ проводили на испытательной машине Walter + Bai AG LFM400 («Walter + Bai AG», Швейцария) методом статических испытаний на растяжение.

Микроструктура образцов прутков и проволоки из сплава Al + 7,0 % PЗМ показана на **рис. 3**.



Рис. 3. Микроструктура деформированных полуфабрикатов из сплава Al + 7,0 % PЗМ:

- a*** – пруток диаметром 9 мм, полученный методом СЛИПП при $T = 780^\circ\text{C}$, скорости деформации $\xi = 1,49\text{ c}^{-1}$ и вытяжке $\mu = 6,8$;
б – проволока диаметром 2 мм, полученная из этого прутка

Результаты экспериментальных исследований энергосиловых затрат при реализации процесса СЛИПП, а именно - усилий, действующих на валки $P_{\text{вал}}$ и матрицу $P_{\text{матр}}$, для различных параметров литья (T – температура заливки металла в валки) и деформации (вытяжка μ и скорость деформации ξ) приведены в **табл. 1**.

Как видно из экспериментальных данных (см. **табл. 1**), силы на валках и матрице с ростом коэффициента вытяжки μ увеличиваются, а с увеличением температуры расплава и скорости деформации – снижаются

Таблица 1

Энергосиловые параметры процесса СЛИПШ для сплава Al + 7,0 % РЗМ

Параметры		$T = 750 \text{ }^\circ\text{C}$			$T = 780 \text{ }^\circ\text{C}$		
Скорость деформации ξ, c^{-1}	Усилие, кН	Вытяжка, μ					
		6,8	8	15,7	6,8	8	15,7
0,74	$P_{\text{вал}}$	372,5	384,3	397,28	339,85	368,84	371,37
	$P_{\text{матр}}$	387,07	445,84	559,36	358,9	402,15	493,17
1,49	$P_{\text{вал}}$	350,21	376,79	382,54	311,87	346,59	350,15
	$P_{\text{матр}}$	377,6	425,65	539,11	339,51	368,36	469,46

Результаты исследований механических свойств для сплавов с различным содержанием РЗМ приведены на **рис. 4**. При степени деформации 0 % (условно) показаны значения исследуемых характеристик для прутков, являющихся заготовками для волочения.

После холодной деформации и получения проволоки диаметром 2 мм значения временного сопротивления разрыву для низколегированных сплавов (0,5-3,5 % РЗМ) достигают 180-210 МПа, а для высоколегированных сплавов (7 % РЗМ) - 275 МПа.

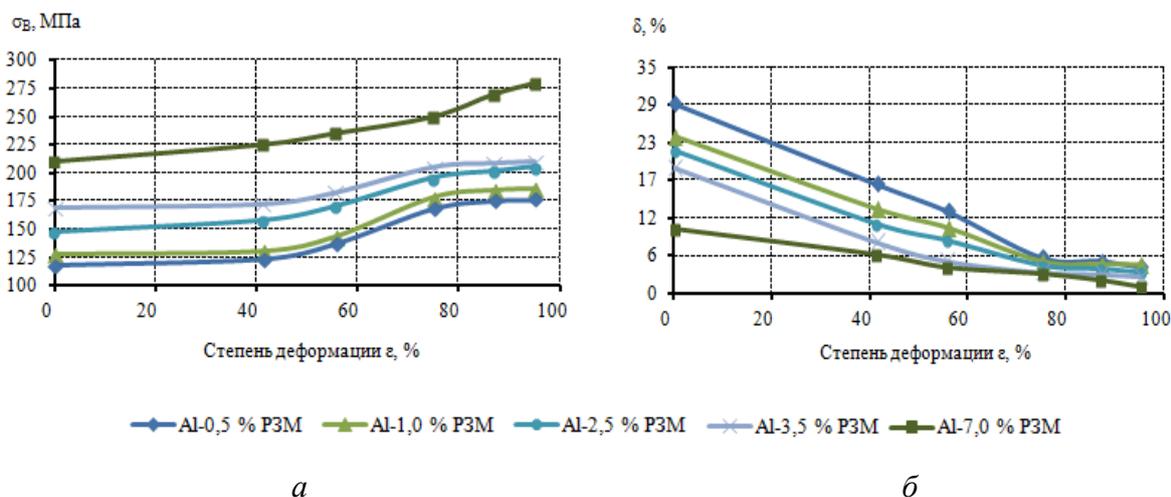


Рис. 4. Графики зависимости временного сопротивления разрыву (а) и относительного удлинения (б) от степени деформации для сплавов Al-РЗМ

Пластические характеристики металла падают с ростом степени деформации. При этом значения относительного удлинения составляют 20-29 % для низколегированных сплавов и 9-10 % - для высоколегированных. При достижении степени деформации $\epsilon = 90 \text{ } \%$ из-за упрочнения в результате холодной деформации значения δ выравниваются для всех сплавов и составляют 1-5 %. Кроме того, замерялось электросопротивление полученных полуфабрикатов с помощью милливольтметра «Виток» в соответствии с ГОСТ 7229-76. Результаты измерений представлены в **табл. 2**.

Таблица 2

**Значения электросопротивления (ρ , Ом·мм²/м при 20 °С)
для деформированных полуфабрикатов из сплавов системы Al-PZM**

Вид	Алюминиевый сплав с содержанием PZM, %				
	0,5	1,0	2,5	3,5	7,0
Пруток (заготовка) Ø 9 мм	0,02791	0,02803	0,02813	0,02902	0,03125
Проволока Ø 2 мм	0,02858	0,02958	0,03064	0,03118	0,03311

Анализ приведенных данных показал, что с увеличением содержания PZM и степени деформации, электросопротивление металла растет. Так, значения этого параметра для высоколегированных сплавов системы Al-PZM (7 % PZM) находятся в пределах 0,03125-0,03311 Ом·мм²/м, а для низколегированных сплавов - в пределах 0,02791-0,03118 Ом·мм²/м. С увеличением степени деформации до значений 95-98 % электросопротивление увеличивается не так интенсивно, в среднем оно возрастает в 1,02-1,05 раза. Поэтому для снижения этого показателя, если нет особых требований к прочностным характеристикам, рекомендуется провести термообработку (отжиг).

Проведенные исследования позволили получить следующие результаты:

- экспериментально определить температурные и скоростные режимы заливки металла в валки и его обработки с помощью операций прокатки и прессования;
- оценить уровень механических и электрофизических свойств новых алюминиевых сплавов системы Al-PZM;
- определить энергосиловые параметры процесса СЛИПП и рекомендовать их для проектирования нового оборудования.

При этом установлены закономерности изменения прочностных и пластических свойств металла в зависимости от химического состава этих сплавов и степени деформации. Полученные данные позволяют прогнозировать свойства новых алюминиевых сплавов с редкоземельными металлами с учетом полученных закономерностей их изменения, а также использовать их для расчета энергосиловых параметров при проектировании нового оборудования.

В настоящее время результаты исследований используются при промышленном внедрении технологии совмещенной обработки для получения катанки на Иркутском алюминиевом заводе.

Список литературы

1. Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Загиров Н.Н. Комбинированные и совмещенные методы обработки цветных металлов и сплавов. М.: МАКС Пресс, 2005. 344 с.
2. Сплавы редкоземельных металлов / В.М. Савицкий, В.Ф. Терехова, И.В. Буров и др. Издательство АН СССР, 1962.
3. Горбунов Ю.А. Основные характеристики и перспективы развития сплавов алюминия с высокой дисперсностью фаз легирующих элементов // Цветные металлы-2013: сб. науч. статей. Красноярск: Версо, 2013. С. 585-590.
4. Исследование структуры металла и оценка свойств опытных образцов из сплава системы Al-PZM, полученных совмещенными методами литья и обработки давлением / С.Б. Сидельников, Н.Н. Довженко, Д.С. Ворошилов, Л.П. Трифоненков, Е.С. Лопатина, В.Н. Баранов, Р.И. Галиев // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. № 2 (34). С. 23-28.
5. Патент РФ 128529. Установка для непрерывного литья, прокатки и прессования цветных металлов и сплавов. Опубл. 27.05.2013. Бюл. № 15.

References

1. Sidelnikov S.B., Dovzhenko N.N., Zagirov N.N. Combined methods of treatments of non-ferrous metals and alloys: a monograph. M.: MAKS Press, 2005. 344 p.
2. Alloys of rare-earth metals / V.M. Savitskiy, V.F. Terekhova, I.V. Burov and others. Publishing house AN USSR, 1962.
3. Gorbunov Y.A. The main characteristics and prospects of development of aluminum alloys with high dispersion phase of alloying elements. Non-ferrous metals-2013: Scientific articles collection. Krasnoyarsk: Verso, 2013. Pp. 585-590.
4. Study of the metal structure and evaluation properties of test samples from alloy system Al - REM, obtained using methods of casting and metal forming / S.B. Sidelnikov, N.N. Dovzhenko, D.S. Voroshilov, L.P. Trifonenkov, E.S. Lopatina, V.N. Baranov, R.I. Galiev // Vestnik of Nosov Magnitogorsk state technical university. 2011. № 2 (34). Pp. 23-28.
5. Patent RF № 128529. Installment for continuous casting, rolling and extruding of non-ferrous metals and alloys. Publ. 27.05.2013. Bul. № 15.

УДК 621.771

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЛИСТА Ti-Ni

**Чукин М.В.¹, Песин А.М.¹, Полякова М.А.¹,
Пивоварова К.Г.¹, Торбус Н.², Рыдз Д.²**

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

² Ченстоховский технический университет, г. Ченстохова, Польша

Потребности современной техники и перспективы ее развития диктуют необходимость создания материалов с самыми разнообразными свойствами, которым во многих случаях не удовлетворяют отдельные металлы и сплавы. Создание композиций путем объединения нескольких компонентов в единую структуру позволяет получить совершенно новый композиционный материал со свойствами, отличными от его составляющих.

В настоящей работе выполнено исследование по определению основных закономерностей совместной пластической деформации биметалла титан-никель (Ti-Ni), полученного сваркой взрывом.

Биметалл Ti-Ni применяется для изготовления мембран, используемых при электролизе. Минимальная толщина биметалла, получаемого сваркой взрывом, составляет 2,0 мм (по 1,0 мм Ni и Ti). Толщина готовой мембраны не должна превышать 1,0 мм, поэтому для ее достижения используется процесс асимметричного деформирования. После асимметричной прокатки толщина слоев биметалла должна быть одинаковой.

В процессе пластического формоизменения каждый из слоев биметалла будет деформироваться по-разному, испытывая при этом разное упрочнение. Наличие трех кинематических зон (отставания, опережения и смешанной) вызывает необходимость описывать течение слоев металла в каждой из них.

Для решения этой проблемы было проведено обширное конечно-элементное моделирование асимметричной прокатки с помощью программных комплексов DEFORM-3D и FORGE. Предварительно с помощью пакета AutoCAD 2010 были созданы геометрические

модели инструмента и биметаллической заготовки. Далее эти модели были экспортированы в FORGE 2008 и DEFORM-3D.

С помощью программы FORGE 2008 исследовали влияние обжатия на скорость деформации металла. Моделирование процесса прокатки осуществляли в валках $\varnothing 250$ мм с окружной скоростью 90 мм/с при комнатной температуре. Начальная толщина биметаллической заготовки – 2,0 мм (по 1,0 мм Ti и Ni).

Условие пластичности принимали по закону Нортона – Хоффа

$$S_{ij} = 2K_0(\bar{\varepsilon} + \varepsilon_0)^{n_0} \cdot e^{(-\beta_0 T)} (\sqrt{3}\dot{\varepsilon})^{m_0-1} \dot{\varepsilon}_{ij}, \quad (1)$$

где S_{ij} – компоненты девиатора тензора напряжений; $\dot{\varepsilon}$ – интенсивность скорости деформации; $\dot{\varepsilon}_{ij}$ – компоненты тензора скоростей деформации; ε_0 – средняя относительная линейная деформация; T – температура; K_0 , m_0 , n_0 , β_0 – константы, характеризующие свойства материала.

Трение описывали согласно закону

$$\tau_j = \mu \cdot \sigma_n \text{ для } \mu \cdot \sigma_n < \frac{\sigma_0}{\sqrt{3}}, \quad (2)$$

$$\tau_j = m \frac{\sigma_0}{\sqrt{3}} \text{ для } \mu \cdot \sigma_n > m \frac{\sigma_0}{\sqrt{3}}, \quad (3)$$

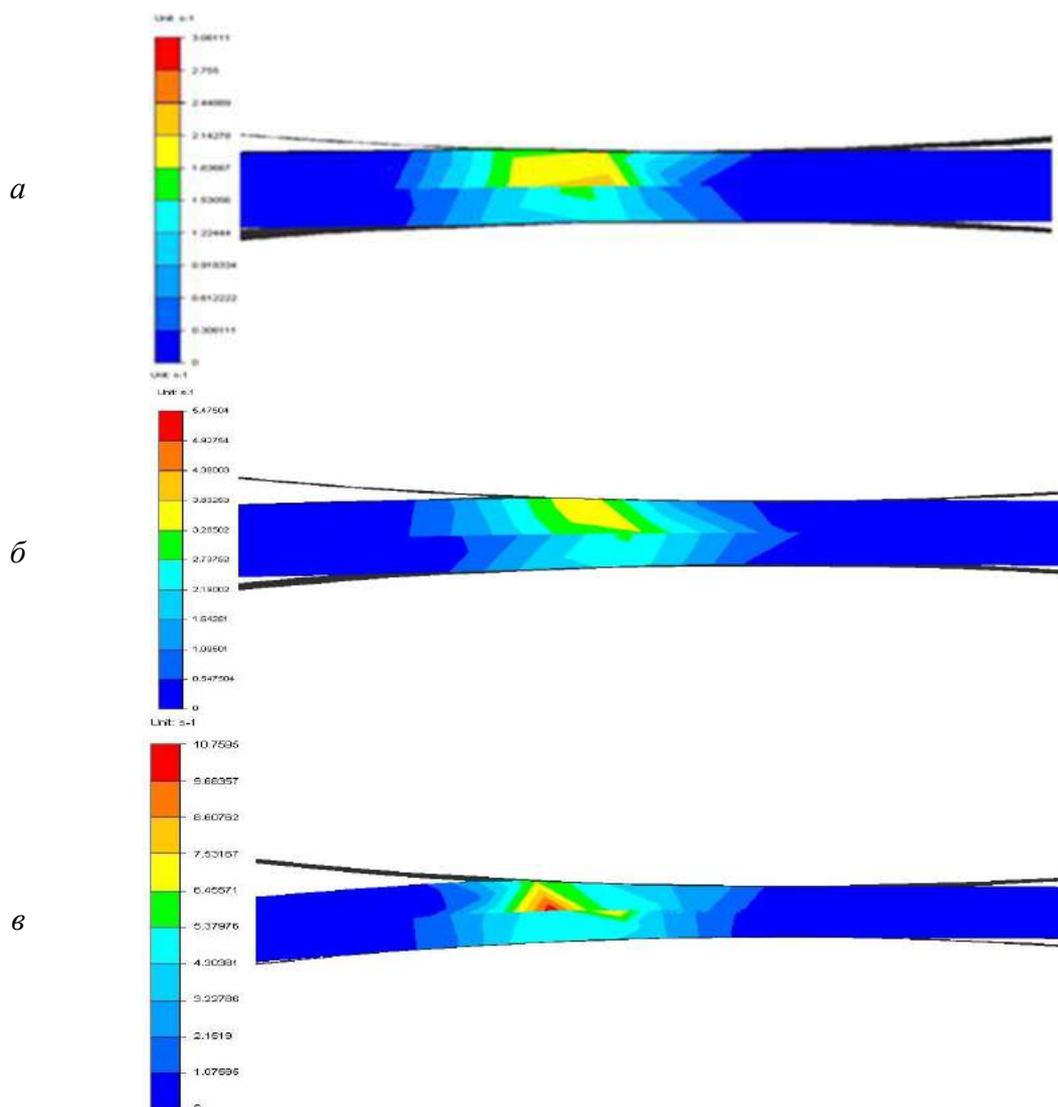
где τ_j – вектор силы трения; σ_0 – среднее нормальное напряжение; σ_n – нормальное напряжение; μ – коэффициент трения; m – фактор трения.

Исследование изменений скорости деформаций металла выполнили при увеличении обжатия с 10 до 20 % (см. рисунок).

Как видно, при этом максимальная скорость деформации никеля возрастает с 2,44 до 10,76 с⁻¹. При обжатии 15 % она достигает значения 3,83 с⁻¹. Максимальная скорость деформации титана изменяется от 1,83 до 7,53 с⁻¹.

Наблюдается существенное различие деформаций титана и никеля. Металл после прокатки значительно изгибается. Для обеспечения прямолинейного движения биметаллического листа Ti-Ni необходимо использовать скоростную асимметрию верхнего и нижнего валков. Такую асимметрию моделировали с помощью программы DEFORM-3D.

При прокатке с одинаковыми окружными скоростями рабочих валков биметаллическая лента получала кривизну 2,04 м⁻¹ (при обжатии 10 %), 4,50 м⁻¹ (20 %) и 5,00 м⁻¹ (30 %). Рассогласование скоростей на 3 % приводит к снижению кривизны с 4,50 до 3,45 м⁻¹ (более, чем на 25 % при 20 % обжатии), а на 5 % – к снижению кривизны с 5,00 до 3,20 м⁻¹ (более, чем на 36 % при 30 % обжатии). Увеличивая скоростную асимметрию, можно легко довести кривизну готовой ленты до нуля.



Поле распределения скоростей деформации при прокатке биметаллического листа Ti-Ni с обжатиями 10 % (а), 15 % (б), 20 % (в)

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-08-90904 мол_ин_нр» (Договор № НС-13-08-90904\13).

Список литературы

1. Использование целенаправленно создаваемой скоростной асимметрии при прокатке биметалла Ti-Ni / М.В. Чукин, А.М. Песин, Д. Рыдз, Н. Торбус, М.А. Полякова, А.Е. Гулин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. № 4 (44). С. 49-50.
2. Экспериментальное исследование влияния деформации на микроструктуру и механические свойства биметалла Ti-Ni / М.В. Чукин, А.М. Песин, Н.В. Копцева, О.А. Никитенко, Ю.Ю. Ефимова, Н. Торбус // Обработка сплошных и слоистых материалов. 2013. № 1 (41). С. 26-30.
3. Аркулис Г.Э. Совместная пластическая деформация разнородных металлов. М.: Металлургия, 1964. 272 с.
4. Аркулис Г.Э. Закономерности совместной пластической деформации разных металлов. Магнитогорск: МГМИ, 1990. 88 с.
5. Процессы асимметричной прокатки: теория и технологические решения: учеб. пособие / В.М. Салганик, А.М. Песин, Д.Н. Чикишев, Г.А. Бережная, Д.О. Пустовойтов. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. 128 с.

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

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

8. Научная деятельность ГОУ ВПО «МГТУ» в условиях развития нанотехнологий / М.В. Чукин, В.М. Колокольцев, Г.С. Гун, В.М. Салганик, С.И. Платов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. № 2. С. 55-59.

9. Колокольцев В.М. Пять лет от аттестации до аттестации // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2008. № 1 (21). С. 5-11.

References

1. The use of intentionally created high-speed asymmetry in bimetal Ti-Ni rolling / M.V. Chukin, A.M. Pesin, D. Rydz, N. Torbus, M.A. Polyakova, A.E. Gulin // Vestnik of Nosov Magnitogorsk state technical university. 2013. № 4 (45). Pp. 49-50.

2. The experimental research of deformation influence on microstructure and mechanical properties of bimetal (Ti-Ni) / M.V. Chukin., A.M. Pesin, N.V. Korceva, O.A. Nikitenko, Yu.Yu. Efimova, N. Torbus // Processing of solid and laminate materials. 2013. № 1 (39). Pp. 26-30.

3. Arkulis G.E. Heterogenous metals joint plastic deformation. M.: Metallurgiya, 1964. 272 p.

4. Arkulis G.E. Heterogenous metals joint plastic deformation regularities. Magnitogorsk: MGMI, 1990. 88 p.

5. Assymmetrical rolling processes: theory and technological determinations: tutorial / Salganik V.M., Chikishev D.N., Beregnaya G.A., Pustovoitov D.O. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk state technical university publishing house, 2013. 128 p.

6. Kolokoltsev V.M. Nosov Magnitogorsk State Technical University. History. Development // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2014. № 1 (45). Pp. 5-6.

7. Kolokoltsev V.M., Razinkina E.M, Glukhova A.Yu. Highly qualified persounel training at the university complex // Izvestiya Samara Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences. 2010. Т. 12. № 1-2. Pp. 615-618.

8. Chukin M.V., Kolokoltsev V.M., Gun G.S., Salganik V.M., Platov S.I. Scientific work of the State Educational Institution of Higher Professional Education “Magnitogorsk State Technical University” during nanotechnology development // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2009. № 2 (26). Pp. 55-59.

9. Kolokoltsev V.M. Five years from certification to certification // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2008. № 1 (21). Pp. 5-11.

УДК 621.778.5:677.721

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛЬНЫХ ПОДВИЖНЫХ КАНАТОВ ПРИМЕНЕНИЕМ КАЛИБРУЮЩЕГО ОБЖАТИЯ ПРЯДЕЙ

Харитонов В.А., Лаптева Т.А.

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

Стальные подвижные канаты работают под высокими динамическими нагрузками, многократно изгибаясь на роликах и блоках талевых, шахтных, крановых, экскаваторных и прочих систем. Особенностью подвижных канатов является их способность изгибаться на относительно малый радиус, что обеспечивается проскальзыванием проволок (прядей) на половину длины шага свивки, при этом внешняя и внутренняя точки сцепления каждой проволоки (пряди) остаются неподвижными. Плотность свивки не нарушается, так как в каждом сечении сдвигается лишь часть проволок [1]. Технологические зазоры, образуемые при свив-

ке, заполняются смазкой, снижающей трение и защищающей от коррозии. Технический ресурс стального каната определяется такими характеристиками как изгибная жесткость, прочность на разрыв, плотность свивки, усталостная прочность (выносливость), раздавливаемость, абразивный износ и коррозионная стойкость [2]. Указанные характеристики обусловлены качеством проволоки, технологией свивки и, в большой мере, величиной свивочных и контактных напряжений. Свивочные и контактные напряжения снижают прочностные и пластические свойства проволок, приводят к эффекту упругой отдачи и тенденции свитой пряди к раскручиванию [2], поэтому возникает необходимость в их минимизации. Снятие и перераспределение напряжений достигается рихтовкой, преформацией, радиальным обжатием, термической и механико-термической обработкой. Часто указанные способы комбинируют [3-9]. Применение пластического обжатия прядей, выполняемое волочением, прокаткой, обкаткой или ротационной ковкой [10], наиболее целесообразно, поскольку в отличие от других способов силового воздействия, позволяет улучшить сразу несколько качественных характеристик: повысить точность изготовления прядей по диаметру, уплотнить свивку, устранив возможную неравномерность натяжения проволок, сформировать полосой межпроволочный контакт и нейтрализовать свивочные напряжения.

Малиновским В.А. в работе [12] предложена классификация способов пластического деформирования: глубокие обжатия ($n_n > 8\%$), значительно повышающие прочность и износостойкость; средние обжатия ($n_n = 3-4\%$), обеспечивающие максимальную долговечность; и калибровка прядей ($n_n = 0-3\%$), обеспечивающая точность изготовления прядей и каната по диаметру. Анализ результатов экспериментальных исследований долговечности стальных канатов в зависимости от степени обжатия прядей позволил сделать вывод о решающем значении условий эксплуатации каната при выборе степени обжатия прядей. Отмечено, что калибровка прядей представляет собой технологический резерв канатного производства, осуществление которого возможно без особых материальных затрат.

Наиболее простым и распространенным способом обжатия стал процесс волочения в монолитной волоке, осуществление которого возможно только в условиях глубоких обжатий. Суть данной операции сводится к уплотнению и последующему волочению исходной круглопроволочной пряди, уменьшению площади сечения пряди и ее преобразованию в пряде-депроволочку. При этом повышается прочность проволок, снижается уровень контактных и свивочных напряжений. Одновременно происходит устранение технологического зазора, обеспечивающего способность каната к изгибу, увеличение трения между проволоками, выдавливание антикоррозионной смазки из межпроволочного пространства, формирование неблагоприятной геометрии контакта проволок, приводящей к возникновению «новых» межпроволочных концентраторов напряжений и препятствующей свободному проскальзыванию проволок относительно друг друга, что неприемлемо к условиям работы подвижных канатов.

Калибровка, предложенная в работе [12], улучшает напряженное состояние пряди, формирует благоприятные контактные условия и напряженное состояние, повышает точность изготовления по диаметру, сохраняет межпроволочный зазор – наилучшим образом обеспечивает свойства подвижных канатов. Главное достоинство данной обработки состоит в том, что сохраняется способность каната изгибаться на относительно малый радиус. Однако, механизм развития деформации при калибрующем обжатии пряди мало изучен, ввиду отсутствия ранее такой необходимости. Получение качественной продукции и рациональное использование инструмента невозможно без корректировки имеющихся сегодня режимов обжатия прядей, исходя из условий эксплуатации канатов, расширения теоретических знаний о поэтапном поведении проволок в процессе деформирования, анализа контактных условий.

Проведение оценки процесса обжатия пряди предполагает расчет энергосиловых параметров, в частности, передаваемого внутрь пряди давления (полного и удельного). Данный вопрос достаточно широко изучен в работах М.Ф. Глушко, В.А. Малиновского, В.К. Скалацкого (для процесса волочения пряди) [12] и Б.А. Бирюкова (для процесса протяжки пряди в роликовых волоках) [11]. Однако, имеющиеся методики расчета не позволяют получить глубокую оценку напряженного состояния пряди, так как не учитывают ряда факторов: давление, передаваемое в тангенциальном направлении; угол наклона контактных площадок,

наличие полуэмпирических коэффициентов, величину которых возможно определить только после проведения предварительного эксперимента и пр. Уточненный расчет передачи давления внутрь многослойной пряди при калибрующем обжатии с учетом углов наклона контактных площадок, долей радиального и тангенциального давления, а также напряженного состояния проволок в данный момент, приведен в работе [15].

Решением задач, связанных с формоизменением проволок при пластическом обжатии в нашей стране занимались М.Ф. Глушко, В.К. Скалацкий, В.А. Малиновский, В.Г. Емельянов [13-14]. Имея в наличии монолитную волоку и ориентируясь на глубокие обжатия с коэффициентом заполнения сечения металлом, равным единице, промежуточные этапы (малые и средние обжатия) формоизменения проволок не рассчитывались, ввиду отсутствия такой необходимости. При малых и средних обжатиях (коэффициент заполнения сечения меньше 1) необходимо создание более гибкой методики, учитывающей диапазон степеней обжатия, конструкцию пряди, расположение проволоки в конкретном слое пряди, влияние ширины, формы и кривизны межпроволочного контакта на эксплуатационную стойкость канатов и пр. Уточненная методика расчета ширины контакта проволок при калибрующем обжатии пряди приведена в работе [16], где учтено влияние смещенного металла на увеличение ширины контакта между проволоками, а также показано направление роста контактной поверхности проволок в зависимости от положения точечного контакта проволок.

Модели расчета передачи давления и определения ширины контакта проволок при калибрующем обжатии многослойной пряди позволили выявить механизм развития пластического обжатия, представляющий собой процесс сближения проволок к центру пряди, формоизменения проволок, последовательного образования контактов, заполнения межпроволочных пустот, образования арок – прочного свода проволок, появление каждого из которых приводит к принципиальной смене напряженного состояния пряди на этапах обжатия. Установлено, что появление арки формирует в арочном слое напряженное состояние, не позволяющее проволокам данного слоя активно деформироваться. До появления первой арки и после формирования всех арок наиболее приоритетными деформированию являются проволоки внешнего слоя, центральная проволока пряди перенапряжена на всех этапах обжатия. Полученная методика позволяет оценивать рост контактных площадок проволок пряди с увеличением обжатия, а также отображает особенности деформации многослойной пряди: резкий рост ширины вновь появившегося контакта при почти неизменной величине обжатия; образование арок; неодновременность появления новых контактов в слоях пряди, обусловленная геометрией пряди и направлением смещения проволок.

С применением программного комплекса Deform разработана универсальная модель обжатия витой многослойной пряди, которая подтверждает выявленный механизм течения деформации, позволяет оценивать контактные условия и характер напряженного состояния пряди на разных этапах обжатия [17-19]. В процессе моделирования выявлено образование в приконтактных областях проволок зон всестороннего сжатия, обеспечивающих повышенную пластичность и неразрушаемость металла в местах контакта при эксплуатации каната, а имеющие место растягивающие напряжения минимальны по величине и локализованы в подповерхностных зонах, что упрощает их снятие. Максимальное упрочнение в проволоке верхнего слоя реализовано в приконтактной области верхнего контакта, что обеспечивает благоприятные условия сопротивляемости истиранию. Немаловажным фактом является то, что на начальных этапах обжатия (в зоне упругих деформаций), соответствующих деформации в обжимных плашках, в сечении витой пряди наблюдается образование неравномерного напряженного состояния с большой долей растягивающих напряжений, что способствует снижению пластических свойств металла.

С целью проверки адекватности моделей расчета процесса калибрующего обжатия прядей, на производственной площадке «Белорецкого металлургического комбината» проведены исследования на прядях каната двойной свивки диаметром 21,5 мм конструкции $6 \times 26(1+5+5/5+10)+10C$, изготавливаемого в соответствии с ТУ 14-173-043-2009, для глубокого разведочного и эксплуатационного бурения. Свивка прядей диаметром 7,68 мм конструкции $1+5+5/5+10$ с диаметрами проволок по слоям: 0,85-1,0-0,95/1,2-1,7 мм осуществлялась на канатной машине SWM 30x400 из канатной проволоки без покрытия с временным сопротивлением разрыву 1770 Н/мм^2 , с последующим пластическим обжатием и обработкой

в рихтовальном приспособлении по принятому на предприятии режиму, что обеспечило идентичность исходного шага свивки и механических свойств проволок в каждом исследуемом образце пряжи.

Пряди деформировались с разной степенью обжатия в сдвоенной трехроликовой волоке с системой калибров «круг – круг». От каждой пряди произведен отбор образцов, каждый из которых подвергнут испытаниям на определение агрегатного разрывного усилия, проволоки испытаны на растяжение (ГОСТ 1497-84, 3241-91), относительное удлинение (ГОСТ 1497-84), число перегибов (ГОСТ 1579-80), скручиваний (ГОСТ 1545-80) и микротвердость (ГОСТ 9450-76). Подробный анализ результатов проведенных испытаний, изложенный в работе [20, 21, 23], а также оценка геометрических особенностей (ширина, кривизна, форма) сформированных контактов, позволили дать качественную характеристику исследуемых прядей, обработанных с разной степенью пластического обжатия:

- при обжатии со степенью 0,8 % прядь имеет хорошие показатели механических характеристик и гибкости, однако достаточно прорабатываются только приповерхностные слои, прядь приобретает ребристую поверхность с нежелательной формой и недостаточной шириной межпроволочного контакта;

- обжатие со степенью 2,1 % соответствует начальному уровню достаточной проработки пряди при сохранении гибкости, высоких показателях пластичности и перегибов, малом снижении прочности. Но при этом наблюдается значительный угол поворота проволок верхнего повива и не обеспечивается требуемая ширина межпроволочных контактов;

- при обжатии со степенью 4,6 % прядь проработана, имеет малый угол поворота проволок верхнего повива, наиболее благоприятную форму контактов, характеризуется равномерным распределением микротвердости, максимальной пластичностью. Но при этом имеются незначительные потери прочности, количества скручиваний и перегибов проволок;

- обжатие со степенью 5,9 % приводит к сильно выраженной неравномерности напряженного состояния, неравномерному упрочнению боковых контактов, снижению гибкости пряди, существенным потерям прочности, количества перегибов и скручиваний. При этом форма боковых контактов сохраняется благоприятной, с низким углом поворота проволок, пластичность сохраняется на максимальном уровне;

- обжатие со степенью 8,4 % снижает гибкость пряди и приводит к потере прочности, пластичности, количества скручиваний и перегибов проволок, характеризуется неравномерным упрочнением боковых контактов, выраженной неблагоприятной формой контактов некоторых слоев. При этом сохраняется низкий угол поворота проволок верхнего повива;

- деформации со степенью 9,7 % характеризуются неравномерностью упрочнения боковых контактов, малой гибкостью пряди, неблагоприятной вогнутой формой контактов центральной проволоки, максимальными потерями прочности, пластичности, количества перегибов, скручиваний. При этом сохраняется минимальный угол поворота проволок верхнего повива.

Калибрующее обжатие прядей является эффективным, конкурентоспособным методом улучшения качества канатов, который при минимальных затратах улучшает напряженное состояние прядей, формирует благоприятные контактные условия, повышает точность изготовления прядей и канатов по диаметру. При наличии оборудования и инструмента, калибрующее обжатие открывает перспективное направление в обработке каната в целом. Разработанная программная модель обжатия витой многослойной пряди является универсальной и позволяет проектировать эффективные режимы обработки, совершенствовать действующие технологии канатного производства, не прибегая к необходимости проведения промышленных экспериментов.

На основе моделирования и экспериментальных исследований разработаны следующие рекомендации по применению калибрующих обжатий при производстве прядей подвижных канатов:

1. Выбор степени обжатия прядей должен исходить из условий эксплуатации канатов: для подвижных канатов, где необходимо снизить концентраторы напряжений и одновременно сохранить гибкость, рекомендуются калибрующие обжатия; для канатов, применяемых в качестве вант, арматуры, грозозащитных тросов и пр., где необходимо повысить продольную и поперечную жесткость, рекомендуются глубокие обжатия.

2. В процессе конструирования прядей–заготовок под пластическое обжатие необходимо учитывать факторы, влияющие на формирование геометрии контакта проволок: диаметры контактирующих проволок не должны выходить за предел отношения 0,4-0,8 в ту или иную сторону, диаметр центральной проволоки должен быть увеличен; предел прочности центральной проволоки и проволок верхнего слоя пряди должен быть выше предела прочности проволок средних слоев пряди. Величина межпроволочных зазоров должна быть максимальной.

3. Традиционные обжимные плашки рекомендуется использовать исключительно для формирования прядей, а обжатие производить в роликовых волоках, обеспечив тем самым равномерность диаметра пряди по длине, формирование благоприятного напряженного состояния и контактных условий, ликвидацию слабины и неравномерного натяжения проволок при свивке.

Работа проведена в рамках реализации государственного задания Министерства образования и науки РФ по теме «Разработка технологии получения высокопрочных длинномерных профилей из материалов с ультрамелкозернистой структурой в условиях комбинирования процессов интенсивного пластического деформирования» (Задание № 11.1525/К от 18 июля 2014 г.).

Список литературы

1. Казменко В.Д. Стальной канат. Прочность и ресурс. Ленинград: Машиностроение, 1983. 72 с.
2. Мольнар В.Г., Владимиров Ю.В. Технологические основы производства стальных канатов. М: Металлургия, 1975. 200 с.
3. Скалацкий В.К., Кулик Н.Т. Характер распределения напряжений в круглых пластически обжатых прядях при осевом растяжении // Стальные канаты: сб. науч. тр. Вып. 6. Киев: Техника, 1969. С. 154 – 157.
4. Харитонов В.А., Иванцов А.Б., Лаптева Т.А. Обработка проволоки растяжением: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2012. 162 с.
5. Сергеев С.Т., Морозовский Е.К. и др. Исследование эффективности механотермической обработки стальных канатов // Стальные канаты: сб. науч. тр. Вып. 10. Киев: Техника, 1973. С. 74-81.
6. Губин М.Я., Жережон–Зайченко Ю.В. Стабилизация натяжения прядей при производстве нераскручивающихся канатов двойной свивки // Черная металлургия. 1991. № 1. С. 63-64.
7. Першин Г.Д., Воронина В.С. Исследование и выбор рациональных режимов МТО витых проволочных изделий // Теория и практика производства метизов: сб. науч. тр. Вып. 15. Магнитогорск: МГМИ, 1989. С. 83-91.
8. Сергеев С.Т. Исследование эффективности рихтовки спиральных канатов // Стальные канаты: сб. науч. тр. Вып. 9. Киев: Техника, 1972. С. 139-143.
9. Адамчук С.В., Пудов Е.А. и др. Исследование технологии производства стабилизированных арматурных канатов // Труды третьего конгресса прокатчиков (Липецк, 19-22 октября 1999 г.). М., 2000. С. 506-508.
10. Егоров В.Д., Воронина В.С. Технология производства арматурных канатов в стабилизированном исполнении // Сталь. 1983. № 9. С. 61-66.
11. Гостенин В.А., Егоров В.Д. Эволюция и перспективы развития канатного производства // Сталь. 2001. № 5. С. 43-46.
12. Малиновский В.А. Прогрессивные технологические приемы изготовления стальных канатов // Стальные канаты / Под ред. В.И. Дворникова. Одесса: АстроПринт, 2001. С. 40-51.
13. Глушко М.Ф., Скалацкий В.К., Малиновский В.А. Силовой анализ процесса кругового пластического обжатия прядей // Стальные канаты: сб. науч. тр. Вып. 9. Киев: Техника, 1972. С. 120 – 130.
14. Бирюков Б.А. Исследование и разработка технологии пластического деформирования проволочных прядей в роликовой волоке: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск, 1974. 20 с.

15. Харитонов В.А., Лаптева Т.А. Расчет распределения деформаций по сечению пряди при круговом обжати // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. № 4 (40). С. 47-51.
16. Скалацкий В.К., Емельянов В.Г. Определение оптимальных условий процесса пластического обжатия прядей // Стальные канаты: сб. науч. тр. Вып. 8. Киев: Техника, 1971. С. 104-113.
17. Малиновский В.А. Определение площадей контакта при круговом пластическом обжати // Стальные канаты: сб. науч. тр. Вып. 9. Киев: Техника, 1972. С. 91-94.
18. Харитонов В.А., Лаптева Т.А. Методика определения контактных площадок при малом обжати прядей // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2012. № 4. С. 66-67.
19. Харитонов В.А., Лаптева Т.А. Особенности деформации проволок верхнего поява при обжати пряди в роликовой волоке // Всероссийский научный семинар «Научно-технический прогресс в металлургии» в рамках Всеросс. науч.-практ. конф. «Череповецкие научные чтения – 2011». Череповец, 2012. С. 148-152.
20. Харитонов В.А., Лаптева Т.А. Моделирование процесса малого обжатия прядей // Обработка сплошных и слоистых материалов: межвуз. сб. науч. тр. / под ред. М.В. Чукина. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. Вып. 37. С. 176-179.
21. Харитонов В.А., Лаптева Т.А. Выбор оптимальной степени пластического обжатия канатов на основе моделирования // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 69-й межрегион. науч.-техн. конф. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011. Т. 1. С. 233-235.
22. Харитонов В.А., Лаптева Т.А. Выбор режимов деформации при обжати многослойных канатов в трехроликовых волоках // Производство проката. 2013. № 8. С. 18-25.
23. Колокольцев В.М. Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. История. Развитие // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (45). С. 5-6.

References

1. Kuzmenko V.D. Steel rope. Integrity and life. Leningrad: Mashinostroenie, 1983. 72 pp.
2. Molnar V.G., Vladimirov J.V. Technological production principles of steel ropes. M.: metallurgy, 1975. 200 p.
3. Skalicky V.K., Kulik N.T. The distribution of stresses in the round plastically squeezing strands axial stretching // Steel ropes: collected scientific articles, № 6. Kyiv: Tekhnika, 1969. Pp. 154 - 157.
4. Kharitonov V.A., Ivantsov A.B., Lapteva T.A. Tensile wire // Monograph. Magnitogorsk: Magnitogorsk state technical university, 2012. 162 p.
5. Sergeev S.T., Morozovsky E.K. and others. Research of efficiency mechanical and thermal processing of steel ropes // Steel ropes: collected scientific articles, № 10. Kyiv: Tekhnika, 1973. Pp. 74-81.
6. Gubin M.E., Garion - Zaichenko J.V. Stabilization tension strands in the production unwound ropes double lay // Ferrous metallurgy. 1991. № 1. Pp. 63-64.
7. Pershin G.D., Voronina V.S. Study and choice of rational modes mechanical and thermal processing twisted wire products // Theory and practice of manufacture of wire products: collected scientific articles, № 15. Magnitogorsk, 1989. Pp. 83-91.
8. Sergeev S.T. Study the efficiency of dressing ropes // Steel ropes: collected scientific articles, № 9. Kyiv: Tekhnika, 1972. Pp. 139-143.
9. Adamchuk S.V., Pudov E.A. and others. Research the production technology of the stabilized reinforcing ropes // Proceedings the Congress of rolling // M. 2000. № 3. Pp. 506-508.
10. Egorov V.D., Voronina V.S. Production technology of reinforcing ropes in a stable performance // Steel. 1983. № 9.
11. Gostenin V.A., Egorov V.D. Evolution and prospects of development the production rope // Steel. 2001. № 5. Pp. 43-46.

12. Malinovsky V.A. Progressive technological methods of manufacturing of steel ropes // Steel ropes / Ed. by V.I. Dvornikova. Odessa: Astroprint, 2001. Pp. 40-51.
13. Glushko M.F., Skalicky V.K., Malinovsky V.A. Power analysis process circular plastic compression strands // Steel ropes: collected scientific articles. Kyiv: Tekhnika, 1972. № 9. Pp. 120 - 130.
14. Biryukov B.A. Research and development of technologies for plastic deformation of wire strands in roller die: abstract dis. ... cand. the technology. sciences. Magnitogorsk, 1974. 20 p.
15. Kharitonov V.A., Lapteva T.A. The distribution calculation of deformations on cross-section of strand in the process of compression // Vestnik of Nosov Magnitogorsk state technical university. 2012. № 4 (40). Pp. 47-51.
16. Skalicky V.K., Emelyanov V.G. Definition of optimum conditions of plastic compression strands // Steel ropes: collected scientific articles. Kyiv: Tekhnika, 1971. № 8. Pp. 104-113.
17. Malinovsky V.A. The areas definition of contact in the process of compression // Steel ropes: collected scientific articles. Kyiv: Tekhnika, 1972. № 9. Pp. 91-94.
18. Kharitonov V.A., Lapteva T.A. The determination method of the pads at low compression strands // Messengers of higher schools. Ferrous metallurgy. 2012. № 4. Pp. 66-67.
19. Kharitonov V.A., Lapteva T.A. Features deformation of the upper wires in the process of compression strand in the roller die // Russian scientific seminar «Scientific - technical progress in metallurgy» within Russian scientific - practical conference «Cherepovets scientific readings - 2011». Cherepovets, 2012. Pp. 148-154.
20. Kharitonov V.A., Lapteva T.A. The process modeling of small compression strands // Handle solid and laminated materials, № 37: collected scientific articles. Magnitogorsk: Magnitogorsk state technical university, 2011. Pp. 176-179.
21. Kharitonov V.A., Lapteva T.A. Choice the optimum degree of plastic compression of ropes on the simulation basis. // Materials of the 69-th science-technical conference. Magnitogorsk: Magnitogorsk state technical university, 2012. Pp. 233-235.
22. Kharitonov V.A., Lapteva T.A. Modes of deformation in the process of compression layered ropes in the three-roller dies // Rolled Products Manufacturing. 2013. № 8. Pp. 18-25.
23. Kolokoltsev V.M. Nosov Magnitogorsk State Technical University. History. Development // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2014. № 1 (45). Pp. 5-6.

УДК 621:771.23–022.532:621.785

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ К НАНОСТРУКТУРИРОВАННОМУ ВЫСОКОПРОЧНОМУ ЛИСТОВОМУ ПРОКАТУ¹

**Чукин М.В., Салганик В.М., Полецков П.П., Бережная Г.А.,
Гущина М.С., Кузнецова А.С., Алексеев Д.Ю.**
*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия*

Одним из стратегических направлений развития отечественной экономики в целом и металлургической промышленности в частности является разработка и внедрение новых материалов на основе высокопрочных сплавов, обладающих комплексом уникальных механических свойств, а также создание изделий на их основе. Потребность промышленности в та-

¹ Работа проведена в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, выполняемого с участием российского высшего учебного заведения (договор 02.G25.31.0105).

ких сплавах обусловлена тем, что конструкторские разработки большинства изделий усовершенствованы до такой степени, что практически невозможно существенно повысить их качество и эксплуатационные свойства. Получить качественно новые технические характеристики изделий можно, если при их изготовлении использовать качественно новые материалы и инновационные разработки при их производстве. Примером могут служить наноструктурированные высокопрочные стали, которые благодаря своим уникальным свойствам являются перспективными материалами для производства высокотехнологичной продукции нового поколения, используемой в оборонной промышленности, мосто- и автомобилестроении, крановом производстве и других наукоемких отраслях промышленности [1, 12-17].

Стратегически важным для РФ является создание и освоение технологии производства аналогов импортных высокопрочных броневых сталей типа:

- MARS 190-300 (Creusot-Loire Industrie, Франция);
- Miilux PROTECTION 320T-500T (Miilux Ltd, Финляндия);
- Ramor 400-500 (Rautaruukki Corporation, Финляндия);
- ARMOX 370T-600T (SSAB, Швеция).

Для автомобильной отрасли и кранового хозяйства стратегия импортозамещения также включает разработку, освоение и производство импортных аналогов типа:

- Hardox, Domex, Weldox, Toolox (SSAB, Швеция);
- Raex, Optim (Rautaruukki Corporation, Финляндия);
- Aldur, Alform, Durostat (voestalpine Stahl GmbH, Австрия);
- Dillidur, Dillimax (Dillinger Hütte GTS, Германия).

Рассмотрим технические требования, предъявляемые к высокопрочным листовым сталям различного назначения.

Высокопрочный высокотвердый листовой прокат для противопульной защиты корпуса транспортных средств

Основными требованиями, предъявляемыми к броневой стали, являются высокая стойкость (сопротивляемость воздействию пуль и снарядов) и живучесть (способность не разрушаться при многократных попаданиях снарядов). Для этого листовой прокат из броневой стали должен обладать высокой прочностью и твердостью (до HRC 57-58) при сохранении пластических характеристик и вязкости (относительное сужение в зависимости от средств поражения от 25 до 40%). В то время как твердость напрямую влияет на баллистическую защиту, ударная вязкость нужна для обеспечения поглощения энергии взрывной волны – две характеристики, которые находятся в постоянном противоречии [2].

Броневая сталь должна обладать также и комплексом технологических свойств: свариваемостью и минимальной разупрочняемостью при сварке для обеспечения стойкости и живучести сварных соединений, обрабатываемостью резанием, технологичностью при правке, гибке, штамповке [3, 4].

Ранее броневые стали применяли главным образом в качестве авиационной брони и деталей противопульного бронирования изделий военной техники. В настоящее время бронированные листы все чаще применяют для изготовления продукции гражданского назначения, где требуется снизить массу конструкции без ущерба для защитных свойств. Это бронированные автомобили; двери, оконные рамы, стены; банковские кассы и сейфы; пункты обмена валюты; почтовые вагоны; оборудование для тиров и др.

Основные марки и свойства зарубежных броневых сталей представлены в **табл. 1**.

Таблица 1

**Марочный состав и технические характеристики зарубежных сталей
для противопоульной защиты корпуса транспортных средств**

Марка стали, фирма-изготовитель (страна)	Толщина листа t, мм	Твердость HBW	Работа удара KV при темпе- ратуре -40 °С, не менее	Предел текуче- сти $R_{p0,2}$ не менее	Предел прочности R_m	Удлинение не менее		Углерод- ный экви- валент CEV* не более	Мини- мально допусти- мый внут- ренний радиус гиба (при угле гиба ≤ 90°)*
						A_5	A_{50}		
						Дж	МПа		
Armox 370T Class 2, SSAB (Швеция)	6,0–59,9	280-330	40	800	900–1100	13	15	0,67-0,75	–
	60,0–100,0			–	–	–	–		
Armox 370T Class 1, SSAB (Швеция)	6,0-19,9	380-430	20	1000	1150-1350	10	12	–	–
	20,0-39,9	340-390	25	900	1050-1250	11	13		
	40,0-59,9	300-350	30	850	950-1150	12	14		
	60,0-100,0		–	–	–	–			
Ramor 400, Rautaruukki Corporation, (Финляндия)	6,0-30,0	360-450	20	1100	1300	8	–	–	–
Miilux Protection 380, Miilux Ltd, (Финляндия)	6,0-25,0	320-370	20	800	1000	12	–	–	–
Miilux Protection 400, Miilux Ltd, (Финляндия)	5,0-40,0	360-420	30	1000	1250	10	–	–	4t
Armox 440T, SSAB (Швеция)	4,0-30,0	420-480	35	1100	1250-1550	10	12	0,68-0,72	-
Ramor 450, Rautaruukki Corporation, (Финляндия)	8,0-16,0	420-480	35	1100	1280	9	–	–	4t
Miilux Protection 450, Miilux Ltd, (Финляндия)	5,0-40,0	420-480	30	1200	1450	8	–	–	5t
Armox 500T, SSAB (Швеция)	3,0-80,0	480-540	25	1250	1450-1750	8	10	0,67-0,75	–
Ramor 500, Rautaruukki Corporation (Финляндия)	6,0-30,0	480-560	20	1450	1700	7	–	–	6t
Miilux Protection 500, Miilux Ltd, (Финляндия)	2,5-40,0	480-540	20	1250	1600	8	–	–	12t
Armox 600T, SSAB (Швеция)	4,0-20,0	570-640	12	-	2000	-	-	0,85	–
Ramor 550, Rautaruukki Corporation, (Финляндия)	6,0-15,0	540-600	16	1550	1850	7	–	–	6t

Примечания: Углеродный эквивалент $CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$; * – показатель опре-
деляется, но не нормируется.

**Высокотвердый износостойкий листовой прокат
для тяжелой подъемно-транспортной техники**

Оборудование, работающее в металлургическом производстве и горнодобывающей промышленности, часто испытывает различное неблагоприятное воздействие (истирание, удары, деформация и т.п.), приводящее к его износу и разрушению. В связи с этим проблема разработки *высокотвердого износостойкого листового проката* является чрезвычайно актуальной.

Области применения данного вида продукции разнообразны:

- перерабатывающая промышленность (кузов самосвала, футеровочные плиты, грейферные ковши и другие захваты, измельчители и др.);

- дорожно-строительная техника (гидравлический молот, ковш экскаватора, кузов самосвала и грузового автотранспорта и др.);
- горнодобывающая промышленность (коронки и зубья ковшей, футеровка бункеров загрузки грохотов, механические лопаты, бункеры и др.);
- металлургическая промышленность (толкатель, желоб дробемета, камера охлаждения, желоб доменной печи, решетка для очистки отливок и др.).

Износостойкий листовой прокат для тяжелой подъемно-транспортной техники должен обладать высокой прочностью и твердостью, чтобы выдерживать интенсивный износ в течение длительного ударного и абразивного воздействия, и достаточной вязкостью, чтобы подвергаться гибке без растрескивания [5-7].

Основные марки и свойства зарубежных износостойких сталей для тяжелой подъемно-транспортной техники представлены в **табл. 2**.

Все перечисленные стали подходят для сварки, гибки, холодного деформирования и механической обработки. Они не предназначены для последующей термообработки ввиду потери в таком случае заявленных свойств.

Таблица 2

Марочный состав и технические характеристики зарубежных износостойких сталей для тяжелой подъемно-транспортной техники

Марка стали, фирма-изготовитель (страна)	Толщина листа t , мм	Твердость HBW	Работа удара KV при тем- пературе -40 °С	Предел текуче- сти $R_{p0,2}^*$,	Предел проч- ности R_m^*	Уд- лине- ние A_5^* ,	Угле- родный эквива- лент CEV, не более	Минимально допустимый внутренний радиусгиба (при угле ги- ба $\leq 90^\circ$)*	
			Дж	МПа		%		T	L
			не менее						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hardox HiTuf , SSAB, (Швеция)	40,0-70,0	310-370	40	850	-	-	0,57	-	-
	70,0-160,0						0,66		
Raex 300 Rautaruukki Corporation, (Финляндия)	2,0-8,0	270-390	30	900	1000	11	0,46	3t	3t
Dillidur Impact , Dillinger Hütte GTS, (Германия)	40,0-150,0	310-370	30	950	1000	15	0,66	3t	4t
Hardox 400 , SSAB (Швеция)	3,0-8,0	370-430	45	1000	-	-	0,41	2,5t	-
	8,0-20,0						0,46		
	20,0-32,0						0,52		
	32,0-45,0						0,60		
	45,0-51,0						0,59		
51,0-80,0	0,67								
Raex 400 , Rautaruukki Corporation, (Финляндия)	6,0-20,0	360-440	30	1000	1250	10	0,42	3t	4t
	20,0-30,0						0,50		
Durostat 400 , voestalpine Stahl GmbH, (Австрия)	8,0-100,0	360-440	30	1000	1250	10	0,47	3t	4t
Dillidur 400 V , Dillinger Hütte GTS, (Германия)	10,0	370-430	30	800	1200	12	0,37	3t	4t
	25,0						0,46		
	40,0						0,51		
	80,0						0,61		
Miilux 400 , Miilux Ltd, (Финляндия)	5,0-12,0	360-420	40	1000	1250	10	0,45	3t	4t
	12,0-30,0	380-450	30	1000	1250	10	0,45		
	30,0-60,0	380-480	30	1100	1400	8	0,56		

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hardox 450, SSAB, (Швеция)	5,0-10,0	425-475	27 при -20°C	1100- 1300	-	-	0,49	4t	-
	10,0-20,0						0,52		
	20,0-40,0						0,60		
	40,0-80,0						0,74		
Raex 450, Rautaruukki Corporation, (Финляндия)	6,0-30,0	420-500	30	1200	1450	8	0,47	4t	5t
	30,0-40,0						0,57		
	40,0-80,0						0,64		
Durostat 450, voestalpine Stahl GmbH, (Австрия)	8,0-50,0	410-490	-	1100	1400	9	0,68	4t-	5t
Dillidur 450 V, Dillinger Hütte GTS, (Гер- мания)	10,0	420-480	35 при -20 °C	950	1400	11	0,46	5t	6t
	40,0						0,53		
	80,0						0,65		
Miilux 450, Miilux Ltd, (Финляндия)	5,0-30,0	425-475	25	1200	1450	8	0,50	4t	5t
	30,0-60,0						0,58		
Hardox 500, SSAB, (Швеция)	4,0-32,0	470-530	37	1250	-	-	0,52-0,64	3,5t	
	32,0-80,0	450-540					0,66-0,75		
Raex 500, Rautaruukki Corporation, (Финляндия)	6,0-40,0	450-540	30	1250	1600	8	0,57	5t	6t
	40,0-80,0						0,66		
Durostat 500, voestalpine Stahl GmbH, (Австрия)	10,0-30,0	460-540	-	1200	1550	8	0,53	4t	5t
Dillidur 500V, Dillinger Hütte GTS, (Гер- мания)	8,0-30,0	470-530	25 при -20°C	1100	1600	9	0,52-0,67	7t	9t
	30,0-100,0	450-530	-	-	-	-			
Miilux 500, Miilux Ltd, (Финляндия)	5,0-60,0	450-530	25	1250	1600	8	0,64	10t	12t
Hardox 550, SSAB, (Швеция)	9,5-51,0	525-575	30	-	-	-	0,76	-	-
Miilux 530, Miilux Ltd, (Финляндия)	20,0-40,0	490-550	20	1350	1750	8	0,60	-	-
Hardox 600, SSAB, (Швеция)	8,0-25,0	570-640	20	-	-	-	0,76	-	-
	25,0-51,0						0,87		
Hardox Extreme, SSAB, (Швеция)	8,0-19,0	650-700	<15	-	-	-	0,84	-	-

Примечание: t – толщина проката; T – место вырезки заготовки для изготовления образцов перпендикулярно направлению проката; L – место вырезки заготовки для изготовления образцов продольно направлению проката; * - показатель определяется, но не нормируется.

**Высокопрочный листовой прокат для кранового производства
и легкой транспортной техники**

Из высокопрочного листового проката изготавливают:

- шасси и кузова коммерческого автотранспорта;
- стрелы гидроманипуляторов для лесной промышленности;
- стрелы кранов и другое грузоподъемное оборудование;
- погрузочно-разгрузочную технику, вспомогательное и крепёжное оборудование;
- контейнеры с подъемными крюками и др.

Одной из главных проблем развития современного машиностроения являются улучшение технико-экономических показателей машин, механизмов и инженерных сооружений на основе снижения их удельной металлоемкости, увеличение эксплуатационной надежности и долговечности. В решении этой проблемы важная роль принадлежит новым высокопрочным сталям (с пределом прочности более 750 МПа) с повышенными показателями механических

и вязких свойств. Потребность в сталях с такими высокими показателями прочности в определенной мере связана с необходимостью изготовления металлоконструкций кранов большой грузоподъемности (250 т и выше).

Листовой прокат для кранового производства и легкой транспортной техники должен сочетать высокую прочность, малый вес, хорошую формуемость, изгибаемость и свариваемость [8, 9].

Основные марки и свойства зарубежных сталей для кранового производства и легкой транспортной техники представлены в табл. 3.

Таблица 3

Марочный состав и технические характеристики зарубежных сталей для кранового производства и легкой транспортной техники

Марка стали, фирма-изготовитель (страна)	Толщина листа t, мм	Работа удара KV, Дж, не менее		Предел текучести $R_{p0,2}$, МПа не менее	Предел прочности R_m , МПа	Удлинение A_5 , % не менее	Углеродный эквивалент CEV, не более	Минимально допустимый внутренний радиусгиба (при углегиба $\leq 90^\circ$)
		в продольном направлении при температуре						
		-40°C	-20°C					
Domex 700 MC , SSAB, (Швеция)	2-10	27	40	700	750-950	12	-	1,6t
Aldur 700 QL , voestalpine Stahl GmbH, (Австрия)	12-100	27	30	700	770-940	14	0,46-0,65	3-4t
Alform 700 M , voestalpine Stahl GmbH, (Австрия)	2-12	27	40	700	750-930	14	0,50	1,5-2,0t
Optim 700 MC , Rautaruukki Corporation, (Финляндия)	3-10	27	40	700	750-950	13	0,41	1,4-1,8t
Dillimax 690 , Dillinger Hütte GTS, (Германия)	6-120	30	40	690	770-940	14	0,50-0,67	2-3t
Domex 960 , SSAB, (Швеция)	3-6	27	-	960	980-1250	8	0,50	3t
Alform 900 x-treme , voestalpine Stahl GmbH, (Австрия)	3,5-8,0	30	40	900	940-1100	10	0,67	2,5-3t
Alform 960 x-treme , voestalpine Stahl GmbH, (Австрия)	3,5-8,0	30	40	960	980-1150	9	0,77	2,5-3t
Optim 900 QC , Rautaruukki Corporation, (Финляндия)	3-10	27	40	900	930-1200	8	0,56($t \leq 8$) 0,57($t > 8$)	3-3,5t
Optim 960 QC , Rautaruukki Corporation, (Финляндия)	3-10	27	40	960	980-1250	7	0,56($t \leq 8$) 0,62($t > 8$)	3,5t
Dillimax 965 T , Dillinger Hütte GTS, (Германия)	6-50	30	40	960	980-1150	12	0,77	3-4t
	50-60			930	950-1120		-	
	60-100			850	900-1100		-	

Хладостойкий высокопрочный листовой прокат для несущих конструкций транспортной техники

Технический прогресс машиностроения требует постоянного повышения уровня служебных свойств используемых материалов с целью увеличения допустимых нагрузок, снижения металлоёмкости и обеспечения надежности конструкций во все более усложняющихся условиях эксплуатации, в том числе при низких климатических температурах [10]. В связи с

этим проблема разработки и производства *хладостойкого высокопрочного листового проката* является одной из центральных и наиболее актуальных в современной металлургии.

Хладостойкий высокопрочный листовый прокат должен обладать сложным комплексом требований, сочетающих взаимопротиворечивые характеристики для обеспечения надежности конструкций:

- высокие прочность и пластичность;
- высокие характеристики ударной вязкости;
- низкая температура вязкохрупкого перехода;
- высокий уровень трещиностойкости;
- сопротивление усталостному разрушению.

Основные марки и свойства зарубежных хладостойких сталей для несущих конструкций транспортной техники представлены в **табл. 4**.

Таблица 4

Марочный состав и технические характеристики зарубежных хладостойких сталей для несущих конструкций транспортной техники

Марка стали, фирма-изготовитель (страна)	Толщина листа t, мм	Твердость НВW	Работа удара KV, Дж, не менее		Предел текучести $R_{p0,2}$, МПа, не менее	Предел прочности R_m , МПа	Удлинение A_5 , %, не менее	Углеродный эквивалент CEV* не более	Минимально допустимый внутренний радиусгиба (при углегиба $\leq 90^\circ$)
			при температуре						
			-60°C	-40°C					
Weldox 900 , SSAB, (Швеция)	4,0-53,0	300-350	27	27	900	940-1100	12	0,58	-
	53,1-80,0				830	880-1100			
Dillimax 890 E , Dillinger Hütte GTS, (Германия)	6-50	-	30	27	890	940-1100	12	0,72	3-4t
	50-80				850	900-1100		0,77	
	80-100				830	880-1100		0,77	
Weldox 1100 , SSAB, (Швеция)	5,0-40,0	425-475	27	27	1100	1250-1550	10	0,70-0,73	-
Dillimax 1100 , Dillinger Hütte GTS, (Германия)	8-20	-	-	27	1100	1200-1500	10	0,78	4-5t
	20-40						8		5-6t
Weldox 1300 , SSAB, (Швеция)	4-10	425-475	27	27	1300	1400-1700	8	0,67	-
Углеродный эквивалент $CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$.									

Инструментальный высокопрочный листовый прокат для высокоточного машиностроительного оборудования

Инструментальный высокопрочный листовый прокат применяется для производства штампов для автомобильной промышленности, пресс-форм пластмассовых и резиновых изделий, гибочного и листоштамповочного инструмента, деталей машин (изнашиваемые детали, направляющие, детали, работающие при повышенных температурах) [11]. Ему должны быть присущи следующие свойства:

- повышенная износостойкость (твердость);

- способность сохранять свои свойства при повышенных температурных режимах, тем самым предотвращая нежелательную деформацию штампов (жаропрочность);
- высокая ударная вязкость;
- низкие остаточные напряжения;
- высокая теплопроводность, для предотвращения нагрева отдельных частей штампа;
- повышенный уровень трещиностойкости.

Данным характеристикам удовлетворяет инструментальная сталь Toolox. Она обладает хорошей ударной вязкостью и очень низкими остаточными напряжениями, что достигается путем закалки и последующего высокотемпературного отпуска. Такие свойства позволяют достичь хорошей стабильности размеров после обработки и увеличивают срок службы инструмента. Данную сталь не рекомендуют нагревать свыше 590 °С с целью сохранения высоких прочностных свойств и твердости. Цифровое обозначение данной марки отражает среднее значение твердости металлопроката, измеренное по Роквеллу.

Основные марки и свойства зарубежных инструментальных сталей представлены в табл. 5.

Таблица 5

Марочный состав и технические характеристики зарубежных инструментальных сталей для высокоточного машиностроительного оборудования

Марка стали, фирма-изготовитель (страна)	Толщина листа <i>t</i> , мм	Твердость HBW	Работа удара KV, Дж, не менее	Предел текучести <i>R_{p0,2}</i> , МПа не менее	Предел прочности <i>R_m</i> , МПа	Удлинение <i>A₅</i> , %, не менее	Углеродный эквивалент CEV* не более
			при температуре 20 °С				
Toolox 33, SSAB, (Швеция)	5-130	275–325	35	850	980	16	0,62–0,71
1.7218, (Германия)	8-100	212–255	45	600	650–1100	12	–
1.6582, (Германия)	8-160	248–255	35–45	700	900–1400	9	–
1.7225, (Германия)	8-160	241–255	30–35	675	900–1300	10	–
1.2312, (Германия)	8-160	275–325	25	850	970–1080	–	–
1.2738, (Германия)	8-160	280–325	22	850	950–1100	–	–
Toolox 40, SSAB, (Швеция)	6-130	360–420	20	1150	1260	14	0,77–0,81
Toolox 44, SSAB, (Швеция)	6-130	410–475	18	1300	1450	13	0,92–0,96
Углеродный эквивалент $CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$.							

Таким образом, высокопрочный инструментальный прокат должен обладать высокой прочностью и ударной вязкостью даже при длительном воздействии высоких температур. Несмотря на довольно высокую твердость, он должен хорошо поддаваться механической обработке.

Вывод

Выполнен анализ технических требований, предъявляемых к наноструктурированному высокопрочному листовому прокату, а также достигнутый уровень свойств данного вида продукции ведущими зарубежными производителями.

По результатам анализа можно заключить, что производимая инновационная продукция в виде импортозамещающего наноструктурированного высокопрочного листового проката должна обладать уникальным комплексом механических свойств, которые определяют

ее функциональное назначение – сочетать сверхпрочность и высокую пластичность, выдерживать динамические нагрузки, обладать повышенной износостойкостью и хладостойкостью.

Список литературы

1. Глинер Р.Е. Разработки в области производства высокопрочной листовой стали в Швеции (сталь Domex, Docol, AHSS) // Производство проката. 2009. № 10. С. 11-18.
2. Гладышев С.А., Григорян В.А. Броневые стали. М.: Интермет Инжиниринг, 2010. 336 с.
3. Igor Barényi, Ondrej Híreš, Peter Lipták. Changes in Mechanical Properties of Armoured UHSLA Steel ARMOX 500 After Over Tempering. Problems of Mechatronics. Armament, Aviation, Safety Engineering, 2013, no. 4. Pp. 7-14.
4. Igor Barényi. Secondary processing of UHSLA ARMOX 500 steel with heat based technologies. University Review, 2012, vol. 6, no. 2. Pp. 6-9.
5. Износостойкие стали для добычи сырьевых материалов: [сталь марки Dillidur 450 V и Dillimax 690 E для металлургического оборудования] // Черные металлы. 2014. № 3. С. 102-103.
6. Дьяков М.А. Износостойкие детали HARDOX – Ваше конкурентное преимущество // Горная промышленность. 2013. № 5. С. 45.
7. Износостойкая сталь Raex – для сложных условий эксплуатации горнодобывающей техники // Горная промышленность. 2012. № 4. С. 70-71.
8. Высокопрочная сталь и самоходные подъемные краны // Новости черной металлургии за рубежом. 2014. № 1. С. 79-81.
9. Новая высокопрочная конструкционная сталь компании Ruukki: [краткое сообщение; сталь марки Optim 700 MC Plus; Финляндия] // Черные металлы. 2011. № 1. С. 6-7.
10. Голосиенко С.А. Новые высокопрочные хладостойкие стали для арктического применения // Производство проката. 2014. № 2. С. 17-24.
11. Bryson W.E. Heat Treatment, Selection, and Application of Tool steels - Munich: Hanser, 2009. 240 p.
12. Колокольцев В.М. Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. История. Развитие // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (45). С. 5-6.
13. Производство многофункциональных сплавов инварного класса с повышенными эксплуатационными свойствами / В.М. Колокольцев, М.В. Чукин, Э.М. Голубчик, Ю.Л. Родионов, Н.Ю. Бухвалов // Металлургические процессы и оборудование. 2013. № 3. С. 47-52.
14. Колокольцев В.М., Разинкина Е.М., Глухова А.Ю. Подготовка квалифицированных кадров в условиях университетского комплекса // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12. № 1-2. С. 615-618.
15. Научная деятельность ГОУ ВПО «МГТУ» в условиях развития нанотехнологий / М.В. Чукин, В.М. Колокольцев, Г.С. Гун, В.М. Салганик, С.И. Платов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. № 2 (26). С. 55-59.
16. Колокольцев В.М. Пять лет от аттестации до аттестации // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2008. № 1 (21). С. 5-11.
17. Брялин М.Ф., Колокольцев В.М., Гольцов А.С. Повышение эксплуатационных свойств отливок из жароизносостойких хромомарганцевых чугунов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. № 4 (20). С. 22-25.

References

1. Gliner R.E. Developments in the Field of High-Strength Sheet Steel in Sweden (Steel Domex, Docol, AHSS) // Rolled Products Manufacturing. 2009. № 10. Pp. 11-18.
2. Gladyshev S.A., Grigorjan V.A. Bronevye stali [Armor Steels]. Moscow, Internet Engineering Publ., 2010. 336 p.
3. Igor Barényi, Ondrej Híreš, Peter Lipták. Changes in Mechanical Properties of Armoured UHSLA Steel ARMOX 500 After Over Tempering. Problems of Mechatronics. Armament, Aviation, Safety Engineering. 2013. № 4. Pp. 7-14.

4. Igor Barényi. Secondary Processing of UHSLA ARMOX 500 Steel with Heat Based Technologies. University Review, 2012, vol. 6, no. 2. Pp. 6-9.
5. Wear-Resistant Steels for Mining of Raw Materials // Ferrous Metals. 2014. № 3. Pp. 102-103.
6. D'jakov M.A. Wear Parts HARDOX-Your Competitive Advantage // Mining Industry, 2013. № 5. Pp. 45.
7. Raex® Wear-Resisting Steel for Mining Machinery Operating in Unfavourable Environment // Mining Industry. 2012. № 4. Pp. 70-71.
8. High-Strength Steel and Mobile Cranes // News Steel Abroad. 2014. № 1. Pp. 79-81.
9. New High Strength Structural Steel by Ruukki // Ferrous Metals. 2011. № 1. Pp. 6-7.
10. Golosienko S.A. New High-Strength Cold-Resistant Steels for Arctic Applications // Rolled Products Manufacturing. 2014. № 2. Pp. 17-24.
11. Bryson W.E. Heat Treatment, Selection and Application of Tool steels. Munich: Hanser, 2009. 240 p.
12. Kolokoltsev V.M. Nosov Magnitogorsk State Technical University. History. Development // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2014. № 1 (45). Pp. 5–6.
13. Production of invar multifunctional alloys with higher exploitation characteristics / V.M. Kolokoltsev, M.V. Chukin, E.M. Golubchik, Yu.L. Rodionov, N.Yu. Bukhvalov // Metallurgical processes and equipment. 2013. № 3. С. 47-52.
14. Kolokoltsev V.M., Razinkina E.M, Glukhova A.Yu. Highly qualified persounel training at the university complex // Izvestiya Samara Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences. 2010. T. 12. № 1-2. Pp. 615-618.
15. Scientific work of the State Educational Institution of Higher Professional Education “Magnitogorsk State Technical University” during nanotechnology development / M.V. Chukin, V.M. Kolokoltsev, G.S. Gun, V.M. Salganik, S.I. Platov // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2009. № 2 (26). Pp. 55-59.
16. Kolokoltsev V.M. Five years from certification to certification // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2008. № 1 (21). Pp. 5-11.
17. Bryalin M.F., Kolokoltsev V.M., Goltsov A.S. An increase in service properties of castings from heat- and wear-resistant chromium-manganese cast irons // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2007. №. 4 (20). Pp. 22–25.

УДК 621.771

ВЛИЯНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ФОКАЛЬНОГО ПЯТНА ЛАЗЕРА НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НОВОГО СТАНА ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ОАО «ММК»

Мешкова А.И., Копцева Н.В.

Ефимова Ю.Ю., Никитенко О.А., Голубчик Э.М.

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

Сварка является одним из ведущих технологических процессов, применяемых для большинства отраслей промышленности. Одним из самых современных и перспективных методов соединения металлов, привлекающих внимание в последние годы, является лазерная сварка. В листопрокатном цехе № 11 (ЛПЦ-11) в ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК») в линии агрегата непрерывного горячего цинкования (АНО/АГЦ) методом лазерной сварки впервые было начато укрупнение рулонов. Опыт лазерной сварки рулонного металлопроката в технологических потоках отсутствовал, поэтому возникла необходимость проведения ряда металлографических исследований сварных соединений холоднокатаной стали.

Большое значение для обеспечения требуемых свойств продукции имеет кристаллическая структура формирующегося сварного соединения. Известно, что на качество сварных швов при лазерной сварке влияет фокусировка луча, поскольку диаметр сфокусированного излучения определяет площадь нагрева и плотность мощности излучения. При этом фокальную плоскость, на которой сфокусированный световой пучок имеет наименьший диаметр,

располагают выше или ниже свариваемых поверхностей. При изменении расстояния от головки лазера до поверхности свариваемого металла положение фокальной плоскости изменяется, что влияет на тепловую мощность в зоне сварки.

Целью данной работы явилось исследование кристаллических зон в сварных соединениях, полученных при различных положениях фокального пятна при лазерной сварке полосы из низкоуглеродистой стали в условиях комплекса холодной прокатки ОАО «ММК».

Работа выполнялась на образцах сварных соединений листовой стали марки 10пс толщиной 0,4 мм, прошедшей обработку на стыкосварочных машинах фирмы Miebach. Параметры опытных режимов лазерной сварки указаны в **табл. 1**.

Комплекс металлографических исследований был проведен с использованием светового микроскопа Meiji Techno при увеличении от 50 до 1000 крат с помощью программного обеспечения и алгоритмов обработки металлографических изображений «Thixomet PRO. Стандартные методы оценки структуры стали и сплавов». При этом использовались возможности этой программы строить панорамные изображения, которые позволяют увидеть всю площадь сварного соединения в целом.

Испытания микротвердости осуществляли на твердомере Buehler Micromet методом вдавливания алмазной пирамиды с углом между противоположными гранями 136° в соответствии с ГОСТ 9450-76. Микротвердость измерялась в поперечном сечении нетравленных шлифов в направлении от оси сварного шва к основному металлу в трех зонах по толщине листа: на периферии вблизи каждой из поверхности листа со стороны широкой части шва (ряд 1), со стороны узкой части шва (ряд 3), а также по центральной линии сечения (ряд 2), как показано на **рис. 1**. Замеры выполнялись до тех пор, пока не достигали твердости свариваемого металла.

Таблица 1

Параметры опытных режимов лазерной сварки и характеристики твердости

Марка стали	Толщина, мм	Скорость, % от максимальной	Мощность лазера, % от максимальной	Фокусное расстояние, мм	Нагрев (т/о), %		Максимальная твердость шва/ твердость основного металла, МПа
					предварительный	окончательный	
10пс	0,4	45	65	4	1	11	2532/2385
	0,4	50	60	6	0	11	2423/2388
	0,4	42	76	7,6	0	13	2328/2269

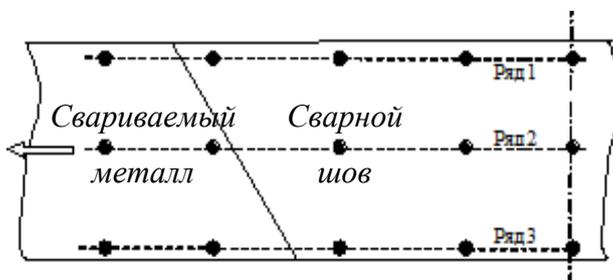


Рис. 1. Схема расположения точек измерения микротвердости

Полученные панорамные микрофотографии микроструктуры сварных соединений, представленные на **рис. 2**, свидетельствуют о том, что при увеличении фокусного расстояния лазера возрастает зона рекристаллизации сварного соединения, что оказывает основное влияние на длину зоны разупрочнения.

Результаты исследования показали, что характер изменения микротвёрдости по мере удаления от оси сварного шва соответствует расположению структурных зон и их протяжённости. Распределение микротвердости со стороны широкой части шва (ряд 1), со стороны узкой части шва (ряд 3) и по средней линии сечения (ряд 2) при меньшем фокусе лазера наи-

более равномерное как в зоне кристаллизации шва, так и в околошовной зоне (зоне термического влияния), что показано на **рис. 3**.

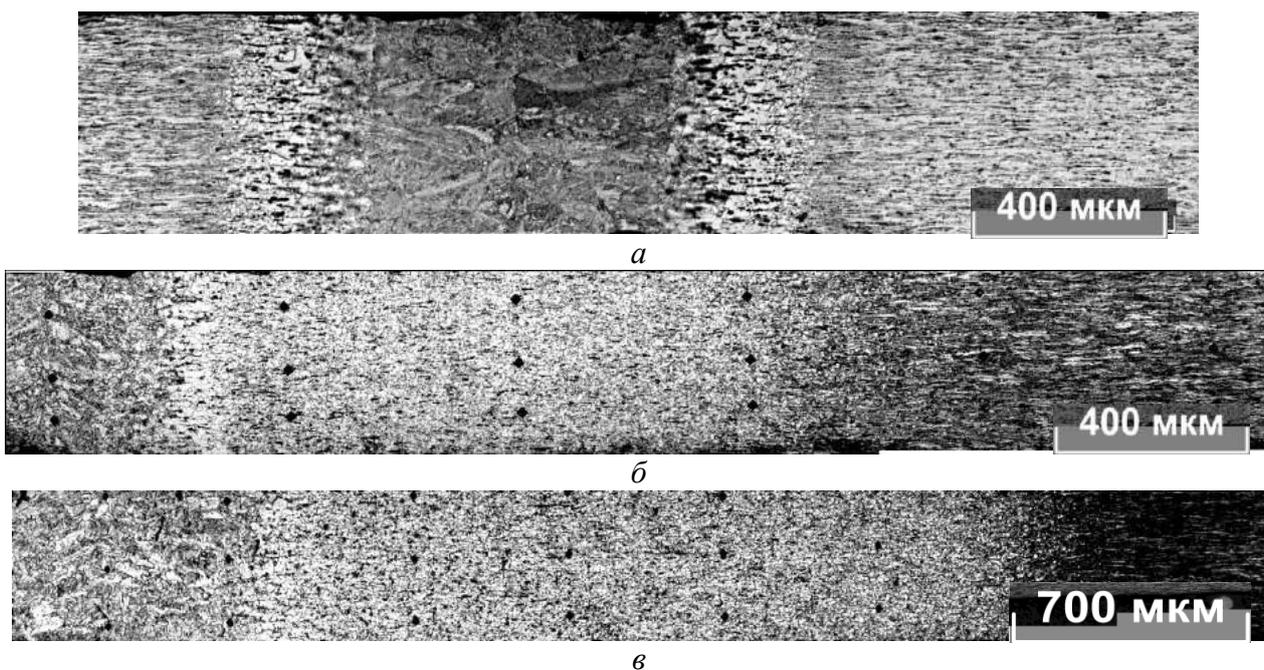


Рис. 2. Панорамные микрофотографии микроструктур в поперечном сечении сварных соединений, полученных лазерной сваркой полосы стали марки 10пс при фокусе лазера 4 мм (*а*), 6 мм (*б*) и 7,6 мм (*в*)

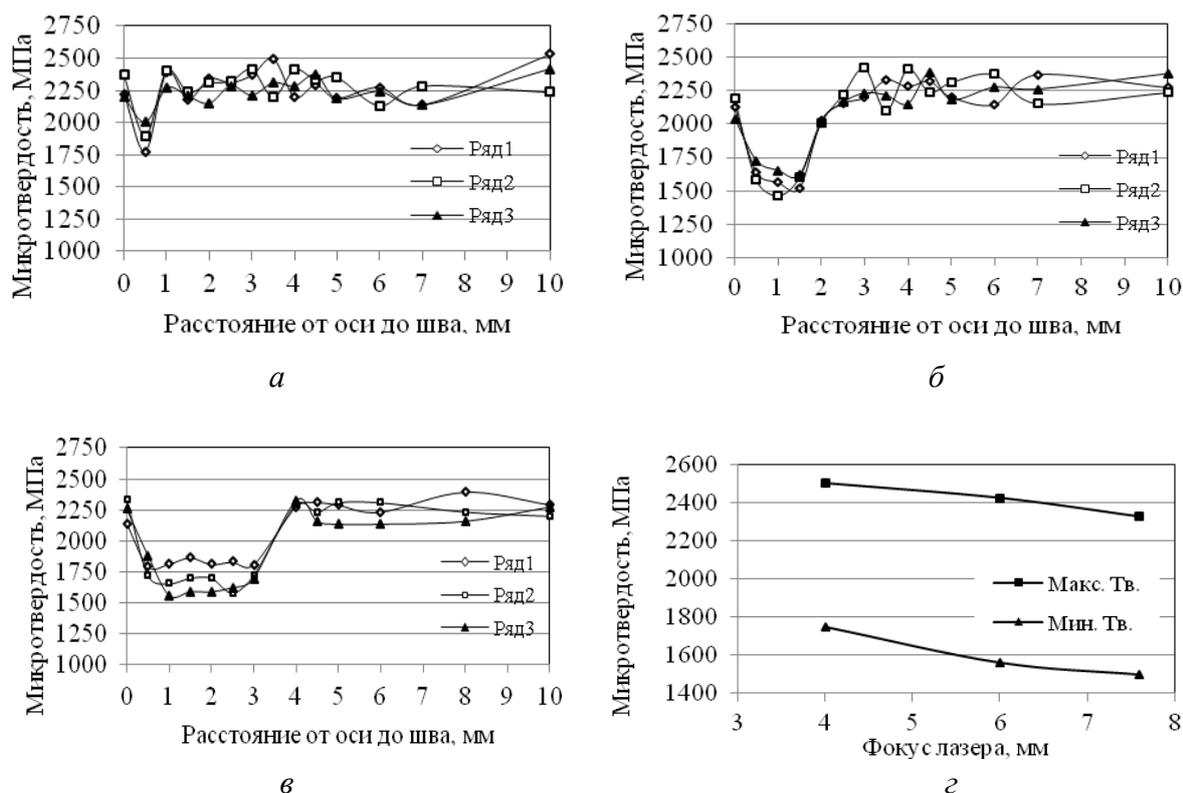


Рис. 3. Распределение микротвердости в различных зонах по толщине сварного соединения в поперечном сечении полосы марки стали 10пс после лазерной сварки при фокусе лазера 4 мм (*а*), 6 мм (*б*) и 7,6 мм (*в*) и изменение уровня микротвердости сварных соединений в зависимости от фокусировки луча лазера (*г*)

Построенные кривые распределения микротвердости позволили также установить, что при увеличении фокусировки луча лазера происходит уменьшение уровня микротвердости сварного соединения. Это можно объяснить тем, что при увеличении фокусного расстояния уменьшается диаметр пятна лазерного излучения, а, следовательно, увеличивается тепловая мощность, подводимая в зону сварки.

Проведенный комплекс металлографических исследований показал, что протяженность кристаллических зон, определенная по средней линии сварных соединений различна при различных фокусных расстояниях лазера (табл. 2).

При этом при увеличении фокусировки луча лазера наибольшее изменение претерпевает зона рекристаллизации, поэтому значительно возрастает длина зоны разупрочнения (рис. 4). Это также может быть объяснено уменьшением площади пятна лазера при увеличении фокусного расстояния, что приводит к повышению тепловой мощности в зоне сварки околошовной зоне.

Таблица 2

Протяженность структурных зон сварных соединений

Фокусное расстояние, %	Протяженность структурных зон, мм				Длина зоны разупрочнения, мм
	кристаллизации шва	перегрева	нормализации	рекристаллизации	
4	0,27	0,15	0,06	0,09	0,57
6	0,2	0,2	0,05	1,8	3
7,6	0,44	0,97	0,14	2,53	4

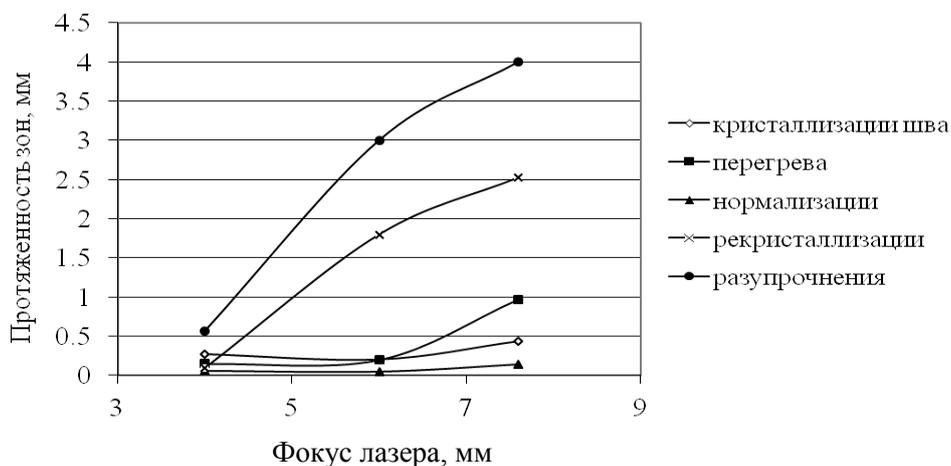


Рис. 4. Влияние фокусного расстояния на протяженность структурных зон сварных соединений

Выводы

При увеличении фокуса лазера происходит увеличение длины зоны разупрочнения.

При меньшем фокусе лазера наблюдается наиболее равномерное распределение твердости как в зоне кристаллизации шва, так и в ЗТВ.

При увеличении фокуса лазера происходит уменьшение уровня микротвердости сварного соединения и ЗТВ.

Работа проведена в рамках программы стратегического развития университета на 2012 – 2016 гг. (конкурсная поддержка Минобразования РФ программ стратегического развития ГОУ ВПО), договора с ОАО «ММК» № 201380 от 04.05.2012, а также гранта в форме субсидий на поддержку научных исследований (соглашение № 14.В37.21.0068)

Список литературы

1. Дубровский Б.А., Шилияев П.В., Ласьков С.А., Горбунов А.В., Лукьянов С.А., Голубчик Э.М. Освоение технологий производства проката в новом комплексе холодной прокатки // *Сталь*. 2012. № 2. С. 63-65.
2. Ефименко Л.А., Прыгаев А.К., Елагина О.Ю. *Металловедение и термическая обработка сварных соединений*: М.: Логос, 2007. 456 с.
3. Малащенко А.А., Мезенов А.В. *Лазерная сварка металлов*. М.: Машиностроение, 1984. 44 с.
4. Колокольцев В.М. Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. История. Развитие // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1 (45). С. 5-6.
5. Производство многофункциональных сплавов инварного класса с повышенными эксплуатационными свойствами / В.М. Колокольцев, М.В. Чукин, Э.М. Голубчик, Ю.Л. Родионов, Н.Ю. Бухвалов // *Металлургические процессы и оборудование*. 2013. № 3. С. 47-52.
6. Научная деятельность ГОУ ВПО «МГТУ» в условиях развития нанотехнологий / М.В. Чукин, В.М. Колокольцев, Г.С. Гун, В.М. Салганик, С.И. Платов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. № 2 (26). С. 55-59.
7. Колокольцев В.М. Пять лет от аттестации до аттестации // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2008. № 1 (21). С. 5-11.
8. Брялин М.Ф., Колокольцев В.М., Гольцов А.С. Повышение эксплуатационных свойств отливок из жароизносостойких хромомарганцевых чугунов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. № 4 (20). С. 22-25.

References

1. Dubrovsky, Shilyaev p. v., Las'kov s. a., Gorbunov a.v., Lukyanov, S.a. Golubchik E.m. Mastery rolled steel produced in a new cold rolling mill complex // *Steel*. 2012. № 2. Pp. 63-65.
2. Efimenko L.A., Prygaev A.K., Elagina O.Yu. Physical metallurgy and heat treatment of welded joints: Instructional. allowance. M.: Logos, 2007. 456 p.
3. Malashenko A.A., Mezenov A.V. Laser welding of metals. M.: Mashinostroenie, 1984. 44 p.
4. Kolokoltsev V.M. Nosov Magnitogorsk State Technical University. History. Development // *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2014. № 1 (45). Pp. 5-6.
5. Production of invar multifunctional alloys with higher exploitation characteristics / V.M. Kolokoltsev, M.V. Chukin, E.M. Golubchik, Yu.L. Rodionov, N.Yu. Bukhvalov // *Metallurgical processes and equipment*. 2013. № 3. С. 47-52.
6. Chukin M.V., Kolokoltsev V.M., Gun G.S., Salganik V.M., Platov S.I. Scientific work of the State Educational Institution of Higher Professional Education "Magnitogorsk State Technical University" during nanotechnology development // *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2009. № 2 (26). Pp. 55-59.
7. Kolokoltsev V.M. Five years from certification to certification // *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2008. № 1 (21). Pp. 5-11.
8. Bryalin M.F., Kolokoltsev V.M., Goltsov A.S. An increase in service properties of castings from heat- and wear-resistant chromium-manganese cast irons // *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2007. №. 4 (20). Pp. 22-25.

УДК 621.77

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОЛОГИИ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В ПРОЦЕССЕ ОБЪЕМНОЙ ХОЛОДНОЙ ШТАМПОВКИ КРЕПЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТАЛИ С УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

Голубчик Э.М.¹, Кузнецова А.С.¹, Дыя Х.²

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

²Ченстоховский Технологический Университет, Польша

В условиях крупного метизно-металлургического предприятия традиционно размерно-марочный сортамент производимой продукции представлен значительным объемом позиций. При этом непосредственно технологический процесс изготовления метизов и применяемое основное оборудование в достаточной степени унифицировано. В этих условиях для повы-

шения конкурентных преимуществ предприятиям метизной отрасли необходимо внедрять новые технологии и материалы, позволяющие расширить диапазон эксплуатационных и потребительских свойств метизов. Однако при этом может возникнуть ситуация, когда при изготовлении нового вида металлопродукции, либо традиционной продукции с расширенным диапазоном свойств, конечный результат деятельности технологической системы с точки зрения обеспечения нормируемого потребителем уровня качества, не всегда очевиден. Это может быть связано со следующим: отсутствие разработанной технологии и/или соответствующего нормативного документа на конкретный вид продукции; низкая квалификация лица, принимающего решение (ЛПР) по организации технологии производства; полное, либо частичное отсутствие технологической возможности в условиях данного предприятия, например, из-за технической ограниченности, либо отсутствия соответствующего оборудования. В этих условиях вполне очевидной становится необходимость, во-первых, разработки и проведения у производителя соответствующих технологических мероприятий адаптивного характера, позволяющих оперативно реагировать на изменяющиеся требования современного рынка металлопродукции, а, во-вторых, требуется построение прогнозной модели изменчивости показателей качества металлоизделий в процессе их производства и методик исследования свойств металлоизделий из инновационных материалов.

Учеными ФГБОУ ВПО «МГТУ» разработан концептуально новый подход к построению технологических процессов и их оценки, основанный на адаптивном управлении качеством металлоизделий и позволяющий выявлять и эффективно использовать ресурсы предприятия для обеспечения нормированного уровня качества конечной продукции [1-3], который, в частности, может быть применен к процессам холодной объемной штамповки (ХОШ).

Предложенный подход основан на моделировании отдельных операций технологического процесса ХОШ, включая операции испытаний механических свойств в программном комплексе DEFORM-3D[®], применение которого позволяет не только в значительной степени сократить объем экспериментальных исследований, но и дает возможность оценивать влияние основных факторов процесса. При этом на основании анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) материала инструмента и обрабатываемой заготовки в процессе моделирования разрабатываются рекомендации по ведению технологического процесса в реальных условиях со значительным уменьшением аттестационных испытаний металлопродукции методами разрушающего контроля, что, в свою очередь, существенно увеличивает эффективность процесса.

В рамках настоящего исследования для построения прогнозной модели, реализующей адаптивное управление показателями качества метизов, и разработки технологии их производства была принята технология изготовления достаточно широко востребованного крепежа повышенного класса прочности. При этом учитывались современные тенденции в его производстве, такие, например, как повышение механических, в первую очередь, прочностных, свойств. Анализ научно-технической литературы показал, что одним из наиболее прогрессивных направлений существенного повышения качества, надежности и уровня механических свойств металлоизделий вообще и крепежа, в частности, является применение в качестве исходного материала конструкционных ультрамелкозернистых (УМЗ) сталей, полученных методами интенсивной пластической деформации (ИПД) [4-6]. Значительный интерес к процессам получения и применения объемных УМЗ сталей в металлургии объясняется возможностью существенного повышения физико-механических свойств конечных изделий без изменения химического состава материала.

В общем случае алгоритм адаптивного управления показателями качества крепежа в процессах ХОШ в соответствии с разработанной методологией включает следующие основные процедуры:

- анализ научно-технической документации;
- разработку базовой (адаптированной) технологии производства;
- анализ возможности реализации предлагаемых адаптивных технологических мероприятий и процедур с учетом особенностей используемых материально-технических ресурсов и оборудования;
- анализ результатов и выдача рекомендаций к построению технологического процесса и его внедрению в действующее производство.

Данный алгоритм был применен для разработки в условиях ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ» технологии изготовления болтов с шестигранной головкой методом высадки, предварительно калиброванного с различной степенью суммарного обжата.

Первоначальным этапом исследований явилась разработка в программном комплексе DEFORM-3D модели наиболее значимых основных технологических операций ХОШ (рис. 1). Для моделирования в комплексе DEFORM-3D были применены реологические кривые, полученные в результате пластометрических испытаний образцов из стали марок 20 и 45 с УМЗ структурой, полученных методами РКУП. Пластометрические исследования проводились на кулачковом пластометре при температуре 20 °С на цилиндрических образцах с исходными диаметрами $d_0 = 6$ мм и высотой $h_0 = 9$ мм.

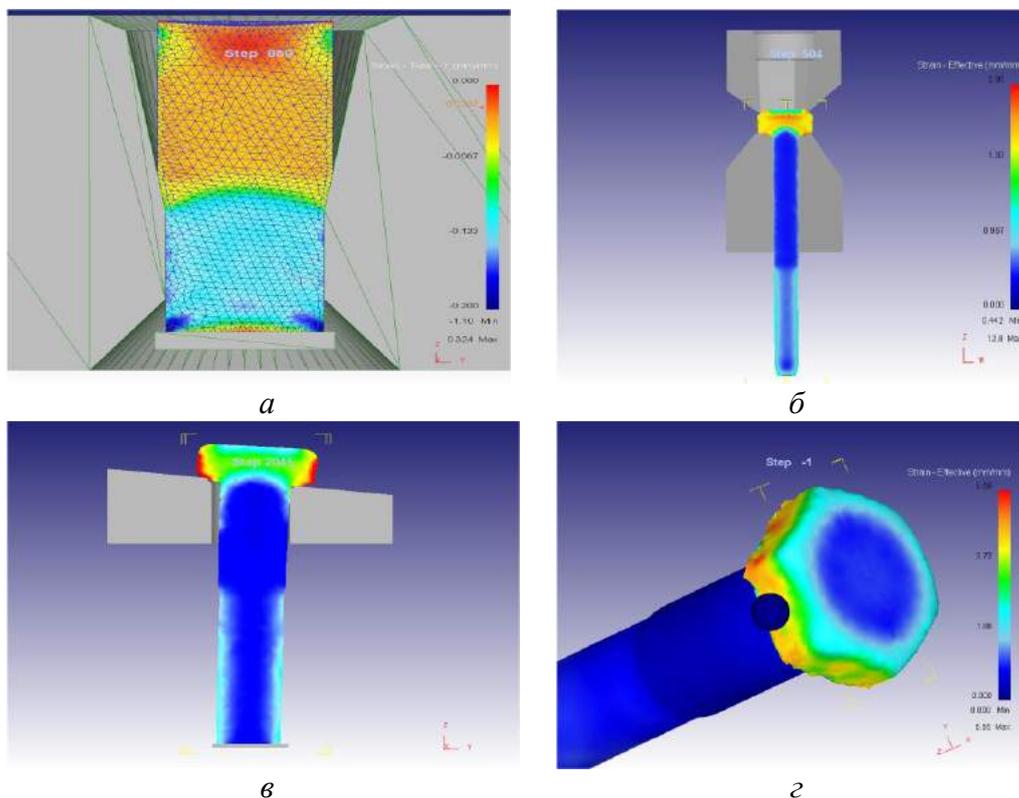


Рис. 1. Пример моделирования технологических операций в программной среде DEFORM-3D:
***a* – калибрование; *б* – холодная объемная штамповка;**
***в* – испытание на растяжение на косой шайбе;**
***г* – измерение твердости по Бринеллю**

Диаграммы деформирования, построенные без учета упругости для стали марок 20 и 45 с объемной УМЗ структурой приведены на рис. 2 и 3, соответственно. При построении диаграмм деформирования, использовался весь массив экспериментальных значений без дифференциации по уровням скоростей деформации.

Высокая плотность расположения точек в поле экспериментальных данных свидетельствует о низкой дисперсии и достаточно высокой статистической достоверности полученных результатов как для стали марки 20 (см. рис. 2), так и для стали марки 45 (см. рис. 3). Низкий разброс экспериментальных значений определяет отсутствие значимого влияния скоростей деформации на сопротивление деформации рассматриваемых марок стали. Об этом свидетельствуют также специально проведенные исследования о выявлении вязких свойств в рассматриваемых марках стали.

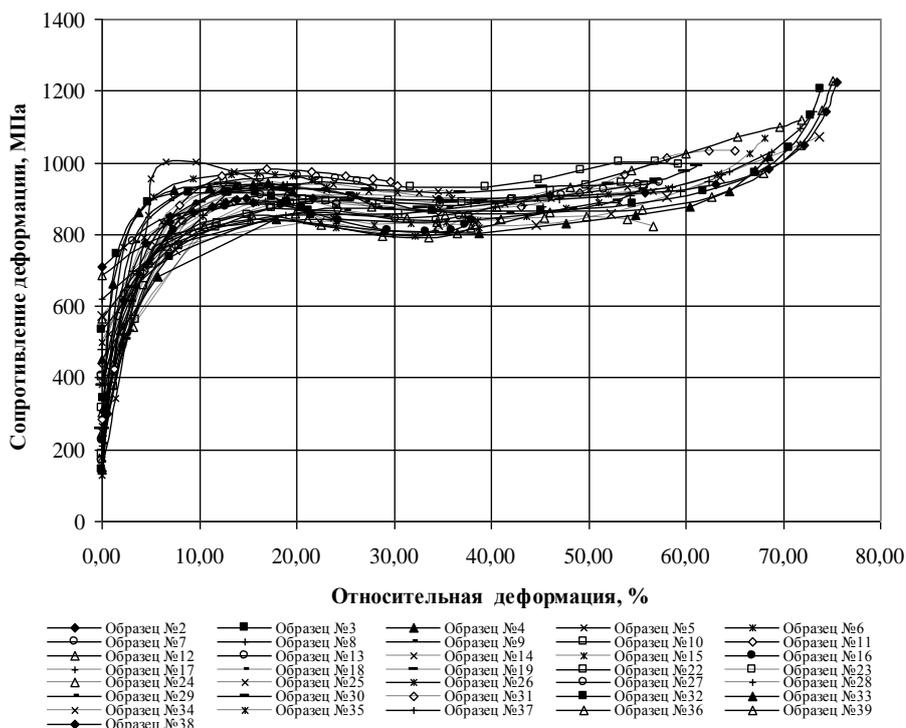


Рис. 2. Диаграммы деформирования по образцам УМЗ стали марки 20, полученной в процессе РКУП

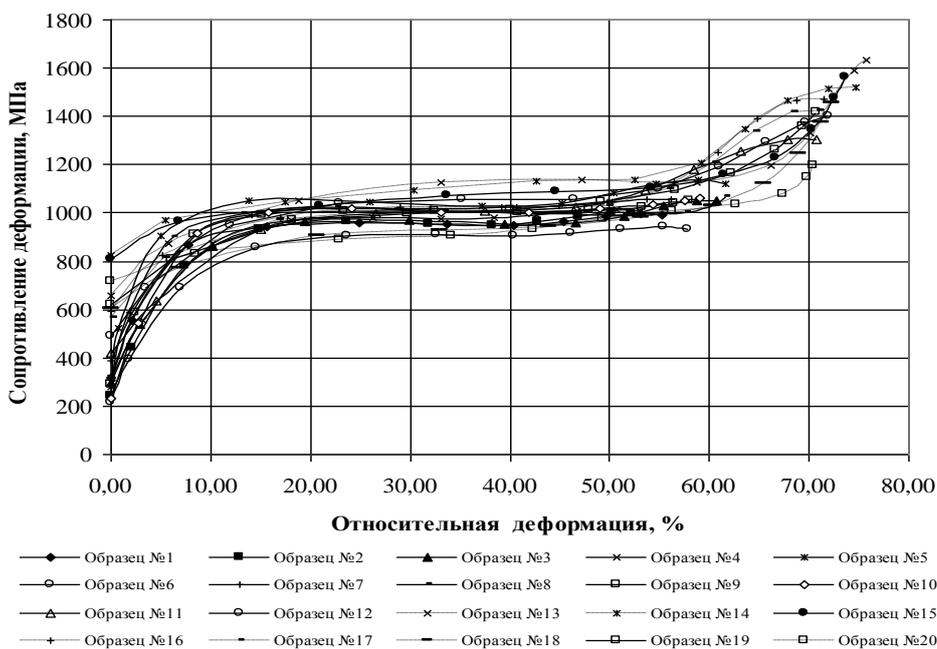


Рис. 3. Диаграммы деформирования по образцам УМЗ стали марки 45, полученной в процессе РКУП

Предельное значение прочности σ_n для рассматриваемых групп УМЗ материалов составило в среднем 1139 МПа (для УМЗ стали марки 20) и 1392 МПа (для УМЗ стали марки 45).

Были построены уравнения состояния на основе метода наименьших квадратов, которые строились путем аппроксимации полей точек экспериментальных данных полиномами 3-го порядка, имеющие вид (1) и (2) для УМЗ стали марок 45 и 20, соответственно:

$$\sigma_s = 0,0115\varepsilon_i^3 - 1,2573\varepsilon_i^2 + 43,445\varepsilon_i + 539,75, \quad (1)$$

$$\sigma_s = 0,0095\varepsilon_i^3 - 1,0704\varepsilon_i^2 + 36,086\varepsilon_i + 549,55. \quad (2)$$

Результаты аппроксимации представлены на **рис. 4**.

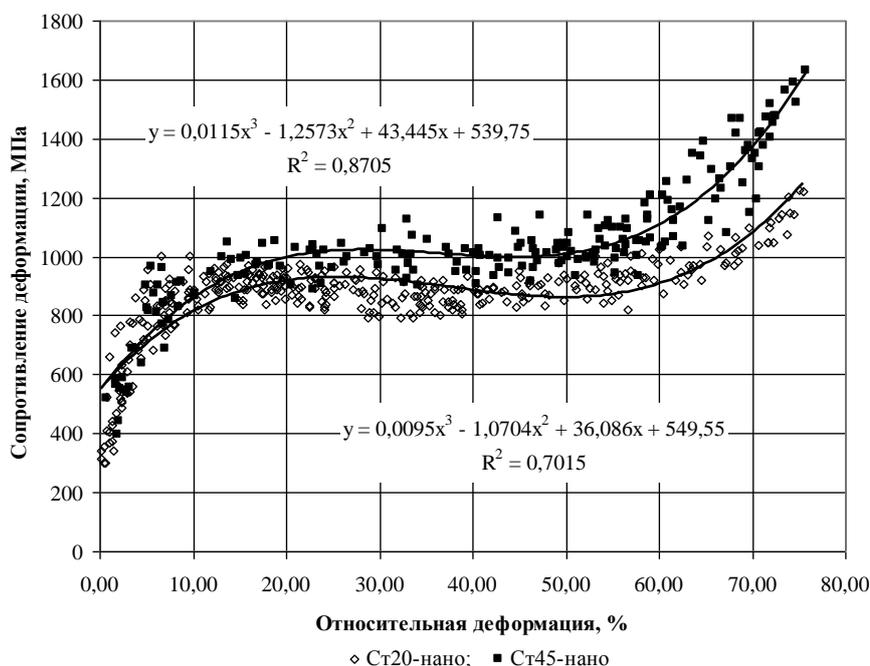


Рис. 4. Уравнения состояния и аппроксимация кривых деформационного упрочнения для УМЗ стали марок 20 и 45 после РКУП

На следующем этапе исследований осуществлялось моделирование процессов ХОШ. При этом исходными данными для модели служила заготовка с накопленным деформированным состоянием после операции волочения на заданный диаметр и чертежи высадочных инструментов (**рис. 5**).

В последующем осуществлялось моделирование процесса испытаний болтов. Так как в соответствии с ГОСТ Р 52627–2006 основными контролируемыми показателями на крепежные изделия повышенного класса прочности являются временное сопротивление на разрыв и твердость по Бринеллю, была разработана модель проведения испытания на растяжение на косой шайбе полноразмерных болтов М10 и М16 из стали марок 10 и 20. Моделирование и прогнозирование механических свойств готового изделия в программном комплексе Deform-3D производили на основе НДС, накопленного в процессе операций формоизменения, в зависимости от химического состава, геометрических параметров, структуры стали и режимов предварительного волочения. Пример полученной модели процесса испытания на растяжение на косой шайбе представлен на **рис. 6**.

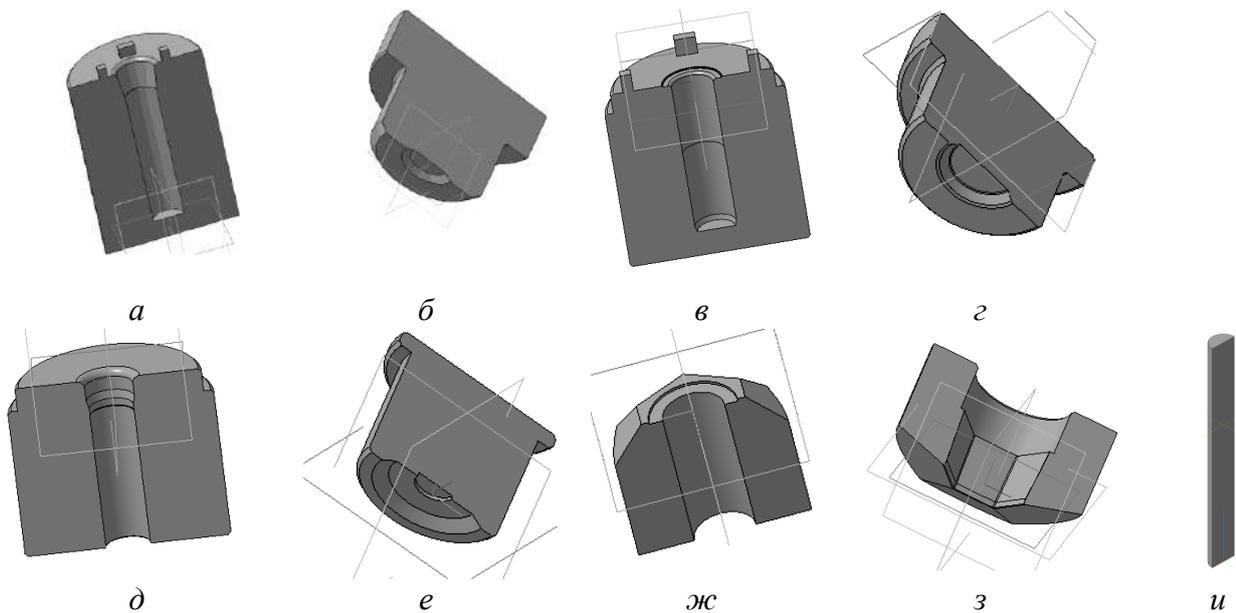


Рис. 5. Геометрия инструмента и заготовки для высадки болта:
a – матрица предварительной высадки головки болта; *б* – пуансон первой операции;
в – матрица окончательной высадки головки болта; *г* – пуансон второй операции;
д – редуцирующая матрица третьей операции; *е* – пуансон третьей операции;
ж - обрезающая матрица; *з* – пуансон обрезающей; *и* - деформируемая заготовка

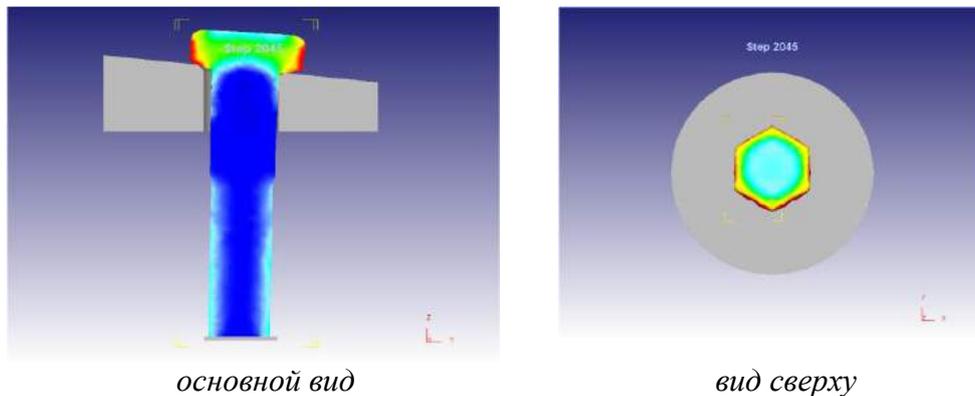


Рис. 6. Моделирование процесса испытания на растяжение на косо́й шайбе в Deform-3D

После моделирования процесса растяжения на косо́й шайбе определялся класс прочности болтов по значению временного сопротивления в соответствии ГОСТ Р 52627-2006.

Гистограммы результатов растяжения болтов с резьбой М10 и М16 из традиционных (крупнозернистых, КЗ) стали марок 10 и 20 показаны на **рис. 7**.

Описанный выше алгоритм и результаты моделирования были успешно реализованы в процессах производства болтов М10 и М16, изготовленных из стали марок 10 и 20 (**табл. 1**). Для оценки возможности достижения повышенного уровня потребительских свойств в качестве альтернативных материалов исследовались также стали марок 20 и 45 с УМЗ структурой (**табл. 2, 3**).

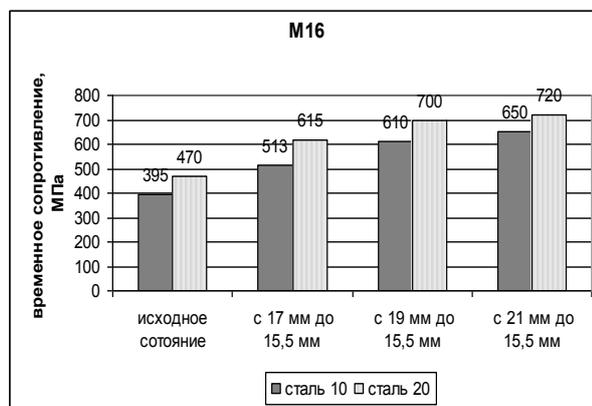
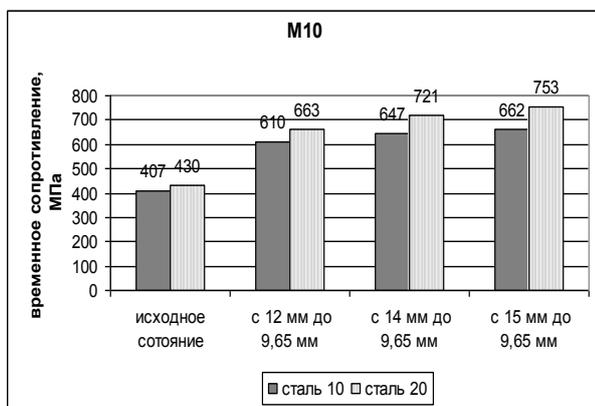


Рис. 7. Изменение временного сопротивления болтов в зависимости от суммарной степени обжата при волочении заготовки из крупнозернистой стали (КЗ) марок 10 и 20

Таблица 1

Результаты испытаний на одноосное растяжение заготовок после операции калибрования и испытаний на растяжение на кривой шайбе болтов из стали марок 10 и 20 при различных суммарных степенях обжата

Наименование крепежа	Маршрут калибрования	Суммарная степень обжата, %	Значение временного сопротивления после калибрования (расчетное/экспериментальное), МПа		Значение временного сопротивления после высадки болта (расчетное /экспериментальное), МПа	
			сталь марки 10	сталь марки 20	сталь марки 10	сталь марки 20
М10	9,65	0	390/410-490	463/440-540	407	430
	12-9,65	35	612/560-700	710/600-710	610/590-730	663/620-760
	14-12-9,65	52,5	710	804	647	721
	15-14-12-9,65	58,6	-	-	662	753
М16	15,5	0	392/420-490	464/430-530	395	470
	17-15,5	18,	504/460-540	682/540-630	513/460-530	615/600-680
	19-15,5	34	604/580-630	814/640-770	610/600-680	700/690-750
	21-19-17-15,5	45,5	-	-	650	720

Таблица 2

Результаты испытаний на одноосное растяжение заготовок после операции калибрования и испытаний на растяжение на кривой шайбе болтов из стали марок 20 и 45 с УМЗ структурой при различных суммарных степенях обжата

Наименование крепежа	Маршрут калибрования	Суммарная степень обжата, %	Значение временного сопротивления после калибрования (расчетное), МПа		Значение временного сопротивления после высадки болта (расчетное), МПа	
			Сталь марки 20 с УМЗ структурой	Сталь марки 45 с УМЗ структурой	Сталь марки 20 с УМЗ структурой	Сталь марки 45 с УМЗ структурой
М10	9,65	0	791,4	890	811/770	902
	12-9,65	35	1019	1159	870	1018
	14-12-9,65	52,5	1044	1245	886	1039
М16	15,5	0	797	890	816/686	924/873
	17-15,5	18	966,5	1112	869	1014
	19-17-15,5	34	1025	1310	891	1042

**Результаты исследования расчетных значений твердости заготовок
из стали с УМЗ структурой**

Наименование крепежа	Маршрут калибрования	Суммарная степень обжатия, %	Значение твердости по Бринеллю, НВ	
			Сталь марки 20 с УМЗ структурой	Сталь марки 45 с УМЗ структурой
Болт М10	9,65	0	239	266
	12 – 9,65	35	257	300
	14 – 12 – 9,65	52,5	264	307
Болт М16	15,5	0	250	279
	17 – 15,5	18	256	299
	19 – 15,5	34	263	307

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что использование марок стали с крупнозернистой структурой с применением операций предварительного волочения не позволяет получать крепеж повышенного класса прочности, об этом свидетельствуют рассчитанные значения временного сопротивления разрыву, которые не достигают 800 МПа

Сравнительный анализ результатов экспериментальных натурных исследований и компьютерного моделирования подтвердил адекватность полученных данных и возможность применения программного комплекса DEFORM-3D для построения прогнозных моделей формирования конечных свойств метизов в процессе их технологической переработки. Кроме того, была доказана и подтверждена возможность обеспечения повышенных прочностных свойств крепежа в случае применения стали с УМЗ структурой [7, 8].

Результатом проведенных комплексных исследований явилось совершенствование технологии производства болтов из стали марок 20 и 45 с УМЗ структурой, за счет дополнительного интенсивного пластического деформирования заготовки, полученной посредством РКУП, а также за счет исключения финишной термической обработки закалкой с высоким отпуском. Укрупненно разработанную технологическую систему изготовления можно представить следующим образом (рис. 8).



Рис. 8. Адаптированный технологический процесс изготовления крепежа повышенного класса прочности из стали с УМЗ структурой

Использование предложенной схемы позволило достичь повышенного уровня механических свойств. Испытания показали, что болты, изготовленные из стали марки 20, имели класс прочности 6.8 и $\sigma_B = 686 \text{ Н/мм}^2$, а болты из стали марки 45 – класс прочности 8.8 и $\sigma_B = 873 \text{ Н/мм}^2$, что подтверждается актами изготовления и испытании продукции в производственных условиях.

С целью обеспечения стабильности процесса холодной высадки болтов повышенного класса прочности целесообразно рекомендовать РКУП в сочетании с термообработкой по специальным режимам, учитывающим структуру, свойства, размеры исходной заготовки и конечной продукции [9-12].

Заключение

Представленный подход на основе концепции адаптивного управления качеством позволяет осуществлять конструирование и исследование высокоэффективных технологических процессов изготовления инновационных видов металлопродукции и выявлять резервы предприятий для укрепления своих конкурентных преимуществ на современных рынках металлоизделий.

Работа проведена в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, выполняемого с участием российского высшего учебного заведения (договор № 02.G25.31.0040); в соответствии с госзаданием Министерства образования и науки РФ Магнитогорскому государственному техническому университету им Г.И. Носова по теме «Разработка технологии получения высокопрочных длинномерных профилей из материалов с ультрамелкозернистой структурой в условиях комбинирования процессов интенсивного пластического деформирования» (МОиМ РФ 2014-14 ГЗ 0110 фундаментальные).

Список литературы

1. Телегин В.Е., Голубчик Э.М., Курбан В.В. и др. Алгоритмизация адаптации многообъектных технологических систем // Производство проката. 2012. № 8. С. 8–14.
2. Чукин М.В., Голубчик Э.М., Кузнецова А.С. Разработка модели адаптивного управления качеством крепежных изделий на основе моделирования в среде DEFORM-3D // Сталь. 2014. № 4. С. 61-66.
3. Телегин В.Е., Голубчик Э.М., Курбан В.В. и др. Применение принципов технологической адаптации при изготовлении холоднокатаной ленты для монетной заготовки // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012. № 4 (40). С. 38-42.
4. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. М.: Логос. 2000. 272 с.
5. Чукин М.В., Копцева Н.В., Валиев Р.З. Дифракционный электронно-микроскопический анализ субмикроструктурной и нанокристаллической структуры конструкционных углеродистых сталей после равноканального углового прессования и последующего деформирования // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2008. № 1 (21). С. 31-37.
6. Инновационный потенциал новых технологий производства метизных изделий из наноструктурных сталей / М.В. Чукин, Н.В. Копцева, М.П. Барышников, Ю.Ю. Ефимова, А.Д. Носов, Е.П. Носков, Б.А. Коломиец // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. № 2 (26). С. 64-68.
7. Ефимова Ю.Ю., Копцева Н.В., Никитенко О.А. Исследование состояния карбидной фазы после наноструктурирования и последующего волочения низкоуглеродистой стали // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. № 3 (27). С. 45-48.
8. Чукин М.В., Кузнецова А.С., Барышников М.П. Определение возможности достижения высоких классов прочности болтов из углеродистой стали с ультрамелкозернистой структурой моделированием измерения твердости по Бринеллю // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2012. № 4. С. 150-152.

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

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

11. Производство многофункциональных сплавов инварного класса с повышенными эксплуатационными свойствами / В.М. Колокольцев, М.В. Чукин, Э.М. Голубчик, Ю.Л. Родионов, Н.Ю. Бухвалов // Metallurgical processes and equipment. 2013. № 3. С. 47-52.

12. Научная деятельность ГОУ ВПО «МГТУ» в условиях развития нанотехнологий / М.В. Чукин, В.М. Колокольцев, Г.С. Гун, В.М. Салганик, С.И. Платов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. № 2 (26). С. 55-59.

References

1. Telegin V.E., Golubchik E.M., Kurban V.V. and others. Algorithmization of adaptation of multi-object technological systems // Rolled Products Manufacturing. 2012. № 8. Pp. 8-14.

2. Chukin M.V., Golubchik E.M., Kuznetsova A.S. Model development of an adaptive quality management of fasteners on the basis of modeling in DEFORM-3D // Steel. 2014. № 4. Pp. 61-66.

3. Application of principles of technological adaptation with the production of cold-rolled tare for the monetary billet / V.E. Telegin, E.M. Golubchik, P.N. Smirnov, S.V. Denisov, V.V. Kurban // Vestnik of Nosov Magnitogorsk state technical university. 2012. № 4 (40). Pp. 38-42.

4. Valiev R.Z., Aleksandrov I.V. The nanostructural materials received by an intensive plastic deformation. M.: Logos, 2000. 272 p.

5. The diffraction submicroscopic analysis of the submicrocrystal and nanocrystal structure of constructional carbon steels after equal channel angle pressing and further deformation / M.V. Chukin, N.V. Koptseva, R.Z. Valiev, I.L. Yakovleva, G. Zrnik, T. Covarik // Vestnik of Nosov Magnitogorsk state technical university. 2008. № 1 (21). Pp. 31-37.

6. Innovation potential of new hardware production from nanostructural steels / M.V. Chukin, N.V. Koptseva, M.P. Baryshnikov, Yu.Yu. Efimova, A.D. Nosov, E.P. Noskov, B.A. Kolomiets // Vestnik of Nosov Magnitogorsk state technical university. 2009. № 2 (26). Pp. 64-68.

7. Efimova Yu.Yu., Koptseva N.V., Nikitenko O.A. Nanomaterials and nanotechnologies Research of carbide phase after nanostructuring process and the subsequent drawing of low-carbon steel // Vestnik of Nosov Magnitogorsk state technical university. 2009. № 3 (27). Pp. 45-48.

8. Chukin M.V., Kuznetsova A.S., Baryshnikov M.P. Determination of achievement capability of high strength classes of bolts from carbon steel with ultrafine grain structure by modeling of Brinell hardness test // Vestnik of Voronezh State Technical University. 2012. № 4. Pp. 150-152.

9. Koptseva N.V., Miholenko D.A., Efimova Yu.Yu. Evolution of a microstructure and properties due to heating of ferritic-pearlitic carbon constructional steels with the ultrafine grain structure created by an intensive plastic deformation // Vestnik of Voronezh State Technical University. 2011. Vol. 7, № 9. Pp. 85-91.

10. Kolokoltsev V.M. Nosov Magnitogorsk State Technical University. History. Development // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2014. № 1 (45). Pp. 5-6.

11. Production of invar multifunctional alloys with higher exploitation characteristics / V.M. Kolokoltsev, M.V. Chukin, E.M. Golubchik, Yu.L. Rodionov, N.Yu. Bukhvalov // Metallurgical processes and equipment. 2013. № 3. С. 47-52.

12. Chukin M.V., Kolokoltsev V.M., Gun G.S., Salganik V.M., Platov S.I. Scientific work of the State Educational Institution of Higher Professional Education "Magnitogorsk State Technical University" during nanotechnology development // Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2009. № 2 (26). Pp. 55-59.

ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМАЦИИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ПРОВОЛОЧНОЙ ЗАГОТОВКИ

Гурьянов Г.Н., Зуев Б.М.

ОАО «НИИметиз», г. Магнитогорск, Россия

Покажем влияние значений коэффициента трения и угла α на относительные показатели процесса волочения круглого сплошного профиля. Зависимости критериев η_f и η_ϕ от коэффициента трения построены при отсутствии пояска (*а, б*) и его длине 2 мм (*в, з*) и 4 мм (*д, е*) и приведены на **рис. 1**. Величина коэффициента вытяжки 1,25, а значения угла α : 3°, 6°, 9° и 12°. Увеличение коэффициента f вызвало наибольшее изменение показателей при меньшем значении угла $\alpha = 3^\circ$ (кривые 1) и наименьшее их изменение при $\alpha = 12^\circ$ (кривые 4). Линии зависимостей для критерия эффективности формоизменения η_ϕ пересекаются, так как при разных значениях угла α отличается скорость прироста полного осевого напряжения при увеличении коэффициента трения. При длине пояска 2 мм величина η_f превысила значение 0,6, когда $f = 0,10$ и $\alpha = 3^\circ$ (кривая 1, **см. рис. 1, з**). При таких параметрах деформации большая часть потребляемой энергии тратится бесполезно. Рост длины пояска от 0 (*а*) до 2 мм (*в*) и 4 мм (*д*) при $f < 0,04$ не привёл к заметному изменению критерия η_ϕ .

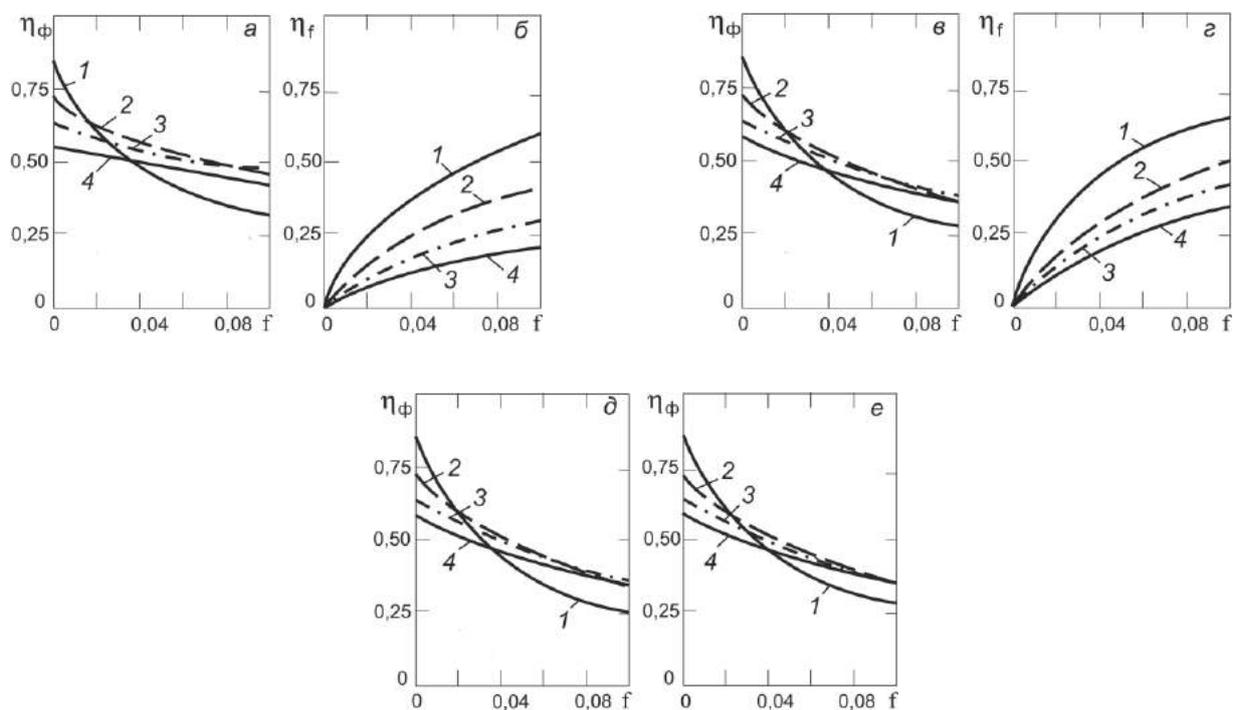


Рис. 1. Зависимость показателей η_ϕ и η_f от коэффициента трения при отсутствии противонапряжения и коэффициенте вытяжки 1,25: *а, б* – пояска отсутствует; *в, з* – длина пояска 2 мм; *д, е* – длина пояска 4 мм; (*в – д*) – использована формула* (4); *е* – использована формула (5); 1 - $\alpha = 3^\circ$; 2 - $\alpha = 6^\circ$; 3 - $\alpha = 9^\circ$; 4 - $\alpha = 12^\circ$

*

Нумерация формул и источников литературы приведена в предыдущей статье настоящего издания автора Г.Н. Гурьянова «Критерий для оценки эффективности формоизменения в процессе волочения круглого сплошного профиля»

Сравнение соответствующих кривых (см. рис. 1, *д* и *е*) показывает, что эффективность формоизменения η_f несколько больше при расчёте с применением формулы* (5), так как формула (4) завышает прирост осевого напряжения в пояске.

На рис. 2 представлены зависимости критерия η_f от величины угла α при коэффициенте трения 0,075 и разных значениях коэффициента вытяжки, напряжения противонапряжения и длины пояска. Все зависимости, кроме представленных на рис. 2, *и* построены при высоком значении коэффициента упрочнения 1,37, который наблюдается при холодном волочении проволоки из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т [5].

Определение критерия η_f выполнили с применением формул (4) и (6) для расчёта прироста осевого напряжения от приложения противонапряжения и формул (7) и (8) для расчёта прироста осевого напряжения в пояске. Первый столбец *а, г, ж* графиков представляет результаты расчётов с применением известных (4) и (7) формул, а третий столбец – с применением новых формул (6) и (8).

При отсутствии пояска и напряжения противонапряжения 200 МПа (*а - в*) кривые для графиков *а* и *б* не отличаются и наблюдается некоторое различие форм кривых графиков *б* и *в*, так как прирост напряжения от противонапряжения рассчитан, соответственно, по формулам (4) и (6). Величина прироста по формуле (4) больше, чем по формуле (6). Поэтому кривые несколько выше (*в*) при расчёте критерия η_f с использованием формулы (6), чем кривые графика (*б*).

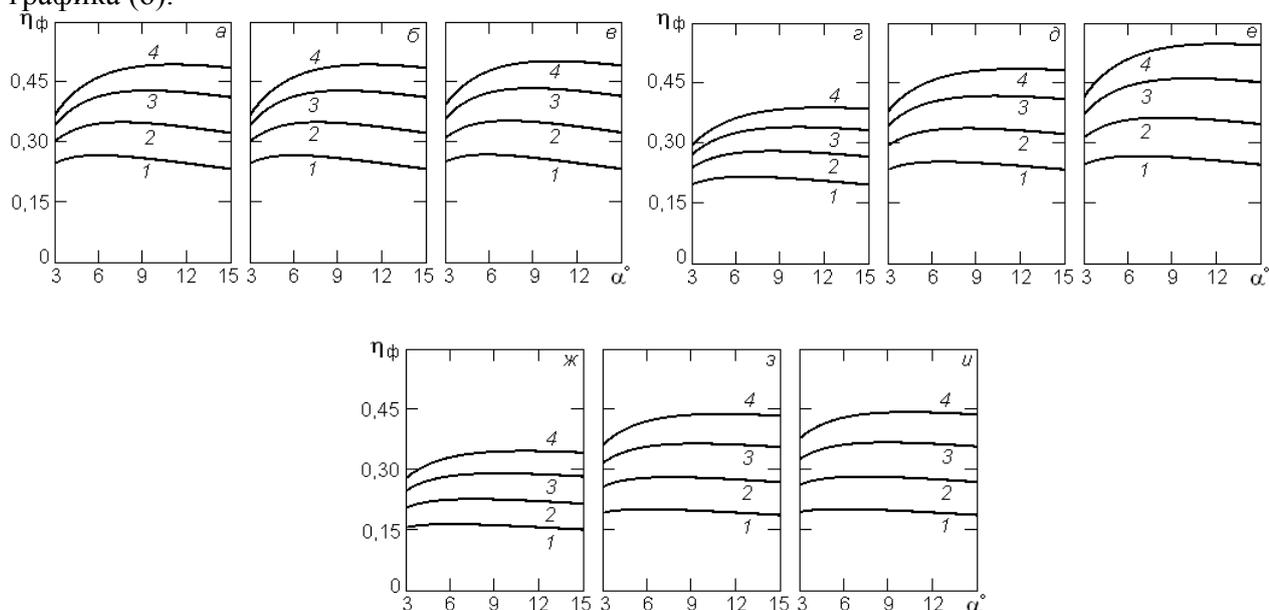


Рис. 2. Влияние величины угла α на критерий эффективности формоизменения η_f при $f = 0,075$:

а, г, ж – использованы формулы (4) и (7); *б, д, з* – использованы формулы (4) и (8);
в, е, и – использованы формулы (6) и (8); *а - в* - $L = 0$, $\sigma_{q0} = 200$ МПа; *г - и* - $L = 4$ мм;
г - е - $\sigma_{q0} = 0$, *ж - и* - $\sigma_{q0} = 200$ МПа; $k = 1,37$ везде кроме *и*, где $k = 0$;
1 - $\mu = 1,15$; 2 - $\mu = 1,25$; 3 - $\mu = 1,40$; 4 - $\mu = 1,60$

Зависимости *г - е* построены при отсутствии противонапряжения и длине пояска 4 мм. Кривые для графиков *г* и *д* отличаются, так как построены с применением, соответственно, формул (7) и (8) для расчёта прироста осевого напряжения в пояске. Кривые *д* находятся значительно выше особенно при коэффициенте вытяжки 1,4 и 1,6 (кривые 3 и 4), чем аналогичные кривые (см. рис. 2, *г*). Данные (см. рис. 2, *и*) получены при отсутствии упрочнения деформируемого материала ($k = 0$), и их сравнение с зависимостями (см. рис. 2, *д*) при коэффициенте упрочнения 1,37 даёт возможность оценить влияние величины коэффициента k на эффективность формоизменения η_f при разной степени деформации. Высокая интенсивность упрочнения при повышенной обжатии (кривые 3, 4) и повышенная длина пояска (*д*)

привели к заметному приросту осевого напряжения в пояске. Это вызвало снижение критерия η_{ϕ} от увеличения величины коэффициента упрочнения от нуля до 1,37, что и показывает сравнение кривых 3 и 4 (см. рис. 2, д, е).

При построении зависимостей (см. рис. 2, ж – и) была принята величина напряжения 200 МПа и та же длина пояска - 4 мм. Значения прироста осевого напряжения по формулам (4) и (7) больше, чем по соответствующим формулам (6) и (8). Поэтому кривые для критерия η_{ϕ} (см. рис. 2, ж) находятся ниже кривых (см. рис. 2, з, и). Различие значений прироста по формулам (4) и (6) для расчёта прироста осевого напряжения от приложения противонапряжения менее отличаются, чем по формулам (7) и (8) для расчёта прироста осевого напряжения в пояске. Поэтому расположение соответствующих кривых (см. рис. 2, з, и) существенно не отличается.

Анализ данных предыдущей статьи и рис. 1, 2 позволил установить различный характер зависимостей для показателей η_{ϕ} , η_{α} и η_f от основных параметров деформации. Например, относительный прирост η_{ϕ} увеличивается с ростом коэффициента вытяжки, несущественно зависит от коэффициента упрочнения, заметно снижается с увеличением коэффициента трения и напряжения противонапряжения и имеет максимальное значение при определённой величине угла волочения.

Покажем влияние дробности деформирования проволочной заготовки на исследуемые показатели: η_{ϕ} , η_{α} , η_f и γ . Требуется протянуть заготовку с коэффициентом вытяжки 1,4 ($q = 28,6\%$). Заданную деформацию заготовки осуществим за один проход, за два и три прохода с равными единичными обжатиями. Во втором и третьем случае коэффициент единичной вытяжки составляет соответственно 1,18 ($q = 15,5\%$) и 1,12 ($q = 10,6\%$). Расчёт выполнили с применением формулы (4) при коэффициентах трения $f = 0,075$ и упрочнения $k = 0,25$, длине пояска 0 и 2 мм, $\alpha = 6^\circ$ и 9° , а также оптимальных значениях угла α , равных $5,97^\circ$ при $\mu = 1,12$ (три прохода волочения), $7,3^\circ$ при $\mu = 1,18$ и $10,3^\circ$ - при одном проходе волочения. Противонапряжение отсутствует. Результаты расчётов приведены в таблице.

Влияние величины угла α и коэффициента вытяжки на значения исследуемых показателей при $f = 0,075$, $k = 0,25$ и отсутствии противонапряжения

α°	μ	Значения показателей			
		η_{ϕ}	η_{α}	η_f	γ
6	1,12	0,41/0,32	0,42/0,35	0,29/0,45	3,69/2,89
	1,18	0,45/0,38	0,32/0,27	0,32/0,44	2,80/2,31
	1,40	0,51/0,46	0,17/0,16	0,36/0,43	1,59/1,42
9	1,12	0,39/0,31	0,58/0,48	0,19/0,36	3,51/2,78
	1,18	0,45/0,37	0,46/0,40	0,21/0,35	2,79/2,31
	1,40	0,54/0,48	0,27/0,25	0,26/0,34	1,69/1,50
5,97	1,12	0,41/0,32	0,42/0,34	0,29/0,45	3,67/2,89
7,29	1,18	0,46/0,38	0,38/0,33	0,27/0,40	2,83/2,33
10,26	1,40	0,55/0,48	0,31/0,28	0,23/0,31	1,69/1,50

Примечание. В числителе стоят значения при отсутствии калибрующего пояска, в знаменателе – при длине пояска - 2 мм.

Данные таблицы показывают, что с уменьшением обжатия заготовки в каждом проходе волочения увеличивается коэффициент запаса прочности γ и показатель η_α . Относительный прирост напряжения от действия трения η_f с уменьшением единичных обжатий повысился при оптимальных углах, а также при неоптимальных углах и наличии пояска. Но при этом (с увеличением количества проходов) значение показателя η_f уменьшилось при отсутствии пояска и неоптимальных значениях угла α .

Повышение дробности деформации отрицательно сказывается на эффективности формоизменения (снижился показатель η_ϕ). Угол $\alpha = 6^\circ$ почти оптимальный при коэффициенте вытяжки 1,12 ($\alpha_{оп} = 5,97^\circ$). Поэтому изменение угла от 6° до $5,97^\circ$ привело к малому снижению коэффициента запаса прочности (от 3,69 до 3,67) при отсутствии пояска. При этом параметр η_α уменьшился с 0,35 до 0,34 при наличии пояска, а показатель η_f не изменил своего значения до второго знака после запятой. При оптимальных значениях угла α наблюдается повышение эффективности формоизменения η_ϕ и в целом обеспечено большее значение коэффициента запаса прочности γ , чем при $\alpha = 6^\circ$ и 9° .

Если воспользоваться рекомендациями И.Л. Перлина [2] по выбору величины коэффициента запаса прочности γ , то при волочении с коэффициентом суммарной вытяжки 1,40 в три прохода с равными единичными обжатиями обеспечивается сверхвысокий запас прочности. Это существенно снижает производительность волочения. При двух проходах высокий запас прочности. А при протяжке заготовки за один проход значения γ находятся рядом с нижней границей удовлетворительного запаса прочности, когда $2,0 > \gamma > 1,4$ [2]. При снижении кратности маршрута волочения с целью повышения эффективности формоизменения заготовки η_ϕ должен быть обеспечен приемлемый запас прочности γ .

Выводы

Значения относительных показателей η_ϕ , η_α , η_f значительно отличаются и в большей мере определяются коэффициентами вытяжки и трения, величиной угла волочения и напряжения противонапряжения. В зависимости от параметров деформации прирост осевого напряжения от действия контактного трения и деформации сдвига металла на входе и выходе рабочего конуса может быть более 60 % от полного напряжения волочения. Показатель η_ϕ отражает эффективность использования внешней энергии на формоизменение проволоочной заготовки с учётом её деформационного упрочнения и его целесообразно применять в качестве одного из критериев при построении рациональных маршрутов волочения. Увеличение дополнительных затрат энергии на деформацию сдвига металла и преодоление силы контактного трения усиливает неоднородность деформации. И при этом повышаются показатели η_α и η_f . Таким образом, критерий эффективности формоизменения η_ϕ характеризует не только «полезные» энергозатраты, но и имеет некоторую связь с показателями степени однородности (неоднородности) деформации в проходе волочения. Но эта связь более сложная, чем установленная Бэкофеном зависимость $\eta_B = 1/\Phi$ [11]. Формула (7) для расчёта прироста осевого напряжения в пояске завышает его значение при повышенных значениях коэффициентов вытяжки и упрочнения в сравнении с аналогичной формулой (8). Поэтому критерий η_ϕ эффективности формоизменения, рассчитанный с применением формулы (7), меньше, чем при использовании новой формулы (8). При принятых параметрах деформации значения критерия η_ϕ существенно не отличаются при их расчётах с применением известной (4) и новой (6) формул для расчёта прироста осевого напряжения от приложения противонапряжения.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ РАЗУПРОЧНЕНИЯ В УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЯХ ПРИ МНОГОЦИКЛОВОЙ ГОРЯЧЕЙ ДЕФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСА ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ GLEEBLE 3500

Барышников М.П., Никитенко О.А., Ишимов А.С.,
Ефимова Ю.Ю., Жеребцов М.С.

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

Хорошо известно, что при горячей пластической деформации одновременно могут происходить как процессы упрочнения, так и процессы разупрочнения. К процессам разупрочнения относится - динамическая рекристаллизация. Изучение механизмов разупрочнения является весьма актуальным. Данный процесс происходит к снижению плотности дислокаций за счет их аннигиляции, следовательно, к снижению сопротивления деформации и за счет этого – к уменьшению усилия, необходимого для деформирования металла. В то же время образование новых недеформированных зерен приводит к измельчению структуры и уменьшению размера зерен [1, 2]. Целью данной работы было исследование влияния многоциклового горячей пластической деформации на процессы и особенности механизмов разупрочнения в низкоуглеродистой стали марки 20*. Исследования проводились с использованием комплекса для физического моделирования Gleeble 3500 [3].

Данный комплекс позволяет осуществлять нагрев образцов путем прямого пропускания электрического тока со скоростью 10000 °C/с. Также с его помощью можно осуществлять контролируемое охлаждение со скоростями до 3000 °C/с. Контроль температуры осуществляется контактным методом при помощи термопар (хромель-алюмель), приваренных к поверхности образца. Гидравлическая система данного комплекса позволяет осуществлять последовательную одноосевую деформацию растяжение - сжатие с усилием 10 т в обоих направлениях. Скорость перемещения траверсы составляет до 1000 мм/с. Эксперименты проводились в вакууме.

Для проведения эксперимента были использованы цилиндрические образцы диаметром 10 мм и длиной 120 мм из стали марки 20. Степень деформации определялась контактным методом при помощи датчика поперечной деформации. Скорость деформации составила 0.1 с⁻¹. Для одного шага деформации истинная логарифмическая степень деформации составила 0.2.

Истинная логарифмическая степень деформации рассчитывалась по формуле (1) [1]

$$\varepsilon = 2 \ln \left(\frac{d_0}{d_0 + \Delta d} \right). \quad (1)$$

Скорость деформации рассчитывалась по формуле

$$\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt}. \quad (2)$$

Режимы обработки представлены в **таблице**.

Перед деформированием образцы нагревались до 1200 °C в течение 1 минуты, после нагрева проводилась выдержка в течение 1 минуты при данной температуре для гомогенизации аустенита. По завершению аустенизации образец охлаждался в течение 15 секунд до

температуры 1100 °С, а затем - со скоростью 2,8 °С/с до температуры начала деформирования [3, 5].

Режимы и сопротивление деформации в процессе обработки

№ режима обработки	Температура начала деформации, °С	Вид деформации	Степень деформации	Условия охлаждения	σ_{max} , МПа	$\Delta\sigma$	Твердость, HV ₅
1	882	Сжатие	0,4	Свободное охлаждение в захватах (средняя скорость около 40°С/с)	136	-	195
2	882	1 цикл «Растяжение-Сжатие»	0,4		139	-	203
3	1100	20 циклов «Растяжение-Сжатие»	8		90	+34	213
4	870	20 циклов «Растяжение-Сжатие»	8		36	-31	216

Для выявления качественных и количественных характеристик микроструктуры использовался оптический микроскоп Meji Techno с применением системы компьютерного анализа изображений Thixomet PRO [4], а также растровая электронная микроскопия (РЭМ) с использованием сканирующего микроскопа JSM 6490 LV.

На **рис. 1** представлено описание режима обработки № 4.

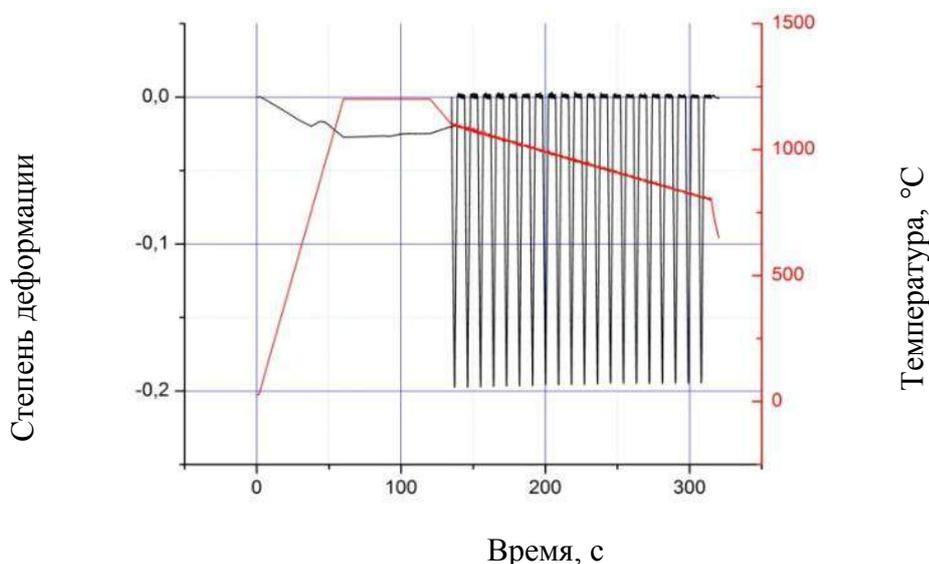


Рис. 1. Режим обработки № 4

На **рис. 2** представлены графики зависимости сопротивления деформации во время обработки.

Из полученных результатов видно, что при обработке по третьему режиму происходит непрерывный рост сопротивления деформации при постоянном понижении температуры. Это связано с тем, что скорость увеличения количества дислокации и роста уровня внутренней энергии превышает скорость процессов разупрочнения, в связи с этим недеформированные новые зерна не успевают зародиться со скоростью достаточной, чтобы привести к снижению плотности дислокаций. Можно сделать вывод, что при таком режиме термомеханической обработки (при постоянном понижении температуры) происходит непрерывный рост сопротивления деформации, соответственно, и рост усилия деформирования.

При обработке по четвертому режиму можно наблюдать картину изменения сопротивления деформации обратную той, что была получена в результате третьего эксперимента. Необходимо отметить, что при одинаковой температуре 870 °С в конце третьего и начале четвертого эксперимента сопротивление деформации различно. В начале четвертого эксперимента оно на 46 МПа превышает сопротивление деформации в конце третьего эксперимента. На основе этого можно предположить, что по завершению третьего эксперимента в металле присутствовала некоторая доля рекристаллизованной структуры.

Сопротивление деформации в конце четвертого эксперимента равно 105 МПа, а в конце третьего - 95 МПа, поэтому можно предположить, что скорость процессов разупрочнения в третьем эксперименте была выше, чем в четвертом [5-8].

Проанализировав результаты первого и второго эксперимента, можно сделать вывод о том, что разупрочняющие процессы в малой степени зависят от направления деформации, а в основном зависят от степени деформации.

На **рис. 1** виден быстрый начальный рост сопротивления деформации до максимальной точки, характеризуемой максимальным сопротивлением деформации σ_p и степенью деформации ε_p , с последующим падением сопротивления деформации, которое вызвано началом процесса динамической рекристаллизации.

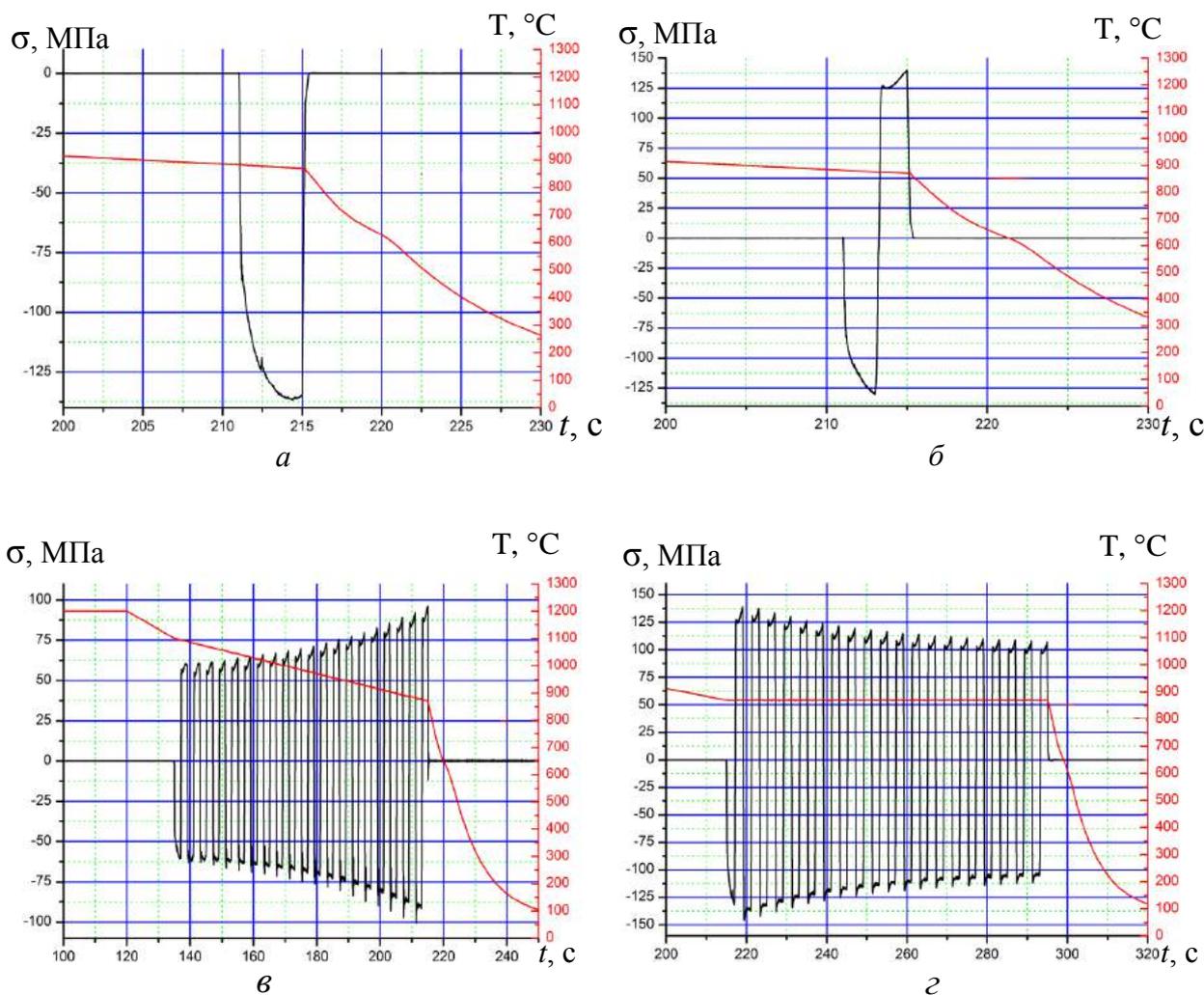


Рис. 2. Зависимость сопротивления деформации стали марки 20 от времени в ходе деформации:
***a* – режим обработки 1; *б* – режим обработки 2;**
***в* – режим обработки 3; *г* – режим обработки 4**

На основании анализа полученных результатов исследований можно сделать вывод о том, что при непрерывном процессе деформирования в металле одновременно могут происходить два противоположных процесса: процесс увеличения плотности дислокаций (процесс упрочнения) и процесс аннигиляции дислокаций путем зарождения новых недеформированных зерен (процесс разупрочнения). Тип обработки определяет их соотношения и может привести либо к росту сопротивления деформации, либо к его снижению.

Исследования твердости показали, что увеличение степени деформации до 8 приводит к росту твердости на 13 единиц, по сравнению с тем случаем, когда степень деформации составила 0,4 (режим обработки 4 и 2, соответственно).

Характерные особенности микроструктуры, полученной после многоциклового деформации (МЦД), представлены на **рис. 3**.

При исследованных скоростях охлаждения феррит имеет игольчатое строение и наряду с пластинчатой феррито-карбидной смесью наблюдаются бейнитно-мартенситные участки (см. **рис. 3**).

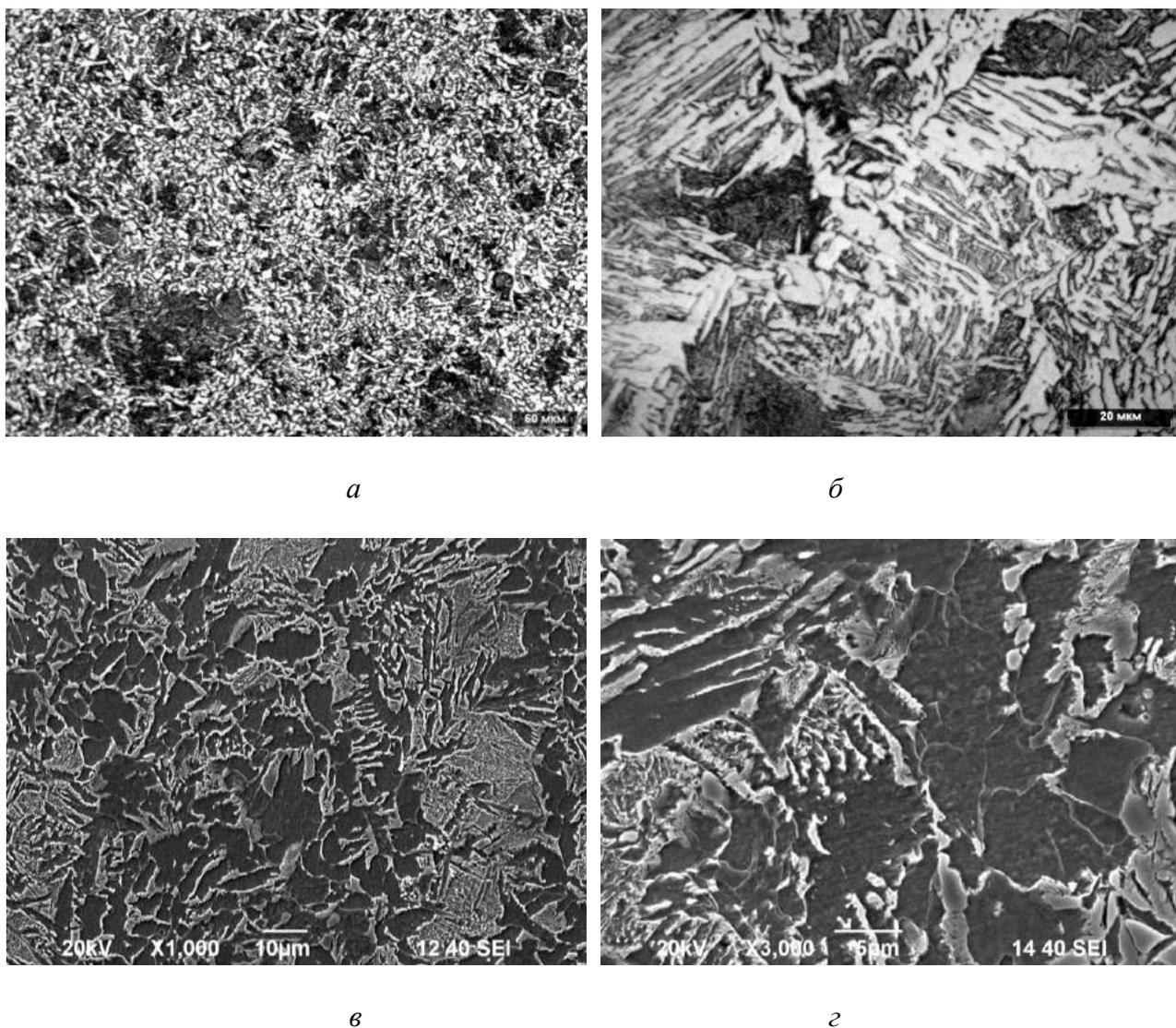


Рис. 3. Микроструктура стали марки 20 после обработки по режиму 1

После эксперимента, осуществленного по режиму 2, микроструктура получилась аналогичная той, которая наблюдалась после эксперимента 1 (**рис. 4**). Однако в ферритных уча-

стках появились деформационные полосы (см. **рис. 4, з**). После эксперимента, осуществленного по режимам 3 и 4 с большими степенями деформации, микроструктура получилась аналогичная той, которая наблюдалась после режимов 1 и 2 (**рис. 5**), однако размер структурных элементов (ориентированных участков) уменьшился до 15 мкм, по сравнению с 25 мкм в исходном состоянии.

Из результатов проведенного микроструктурного анализа видно, что большая степень деформации приводит к измельчению структуры. Изменение направления деформации способствует образованию деформационных полос.

Результаты исследования с использованием комплекса физического моделирования Gleeble 3500 показали возможность измельчения структурных элементов стали и влияние разупрочняющих процессов на свойства готовой продукции.

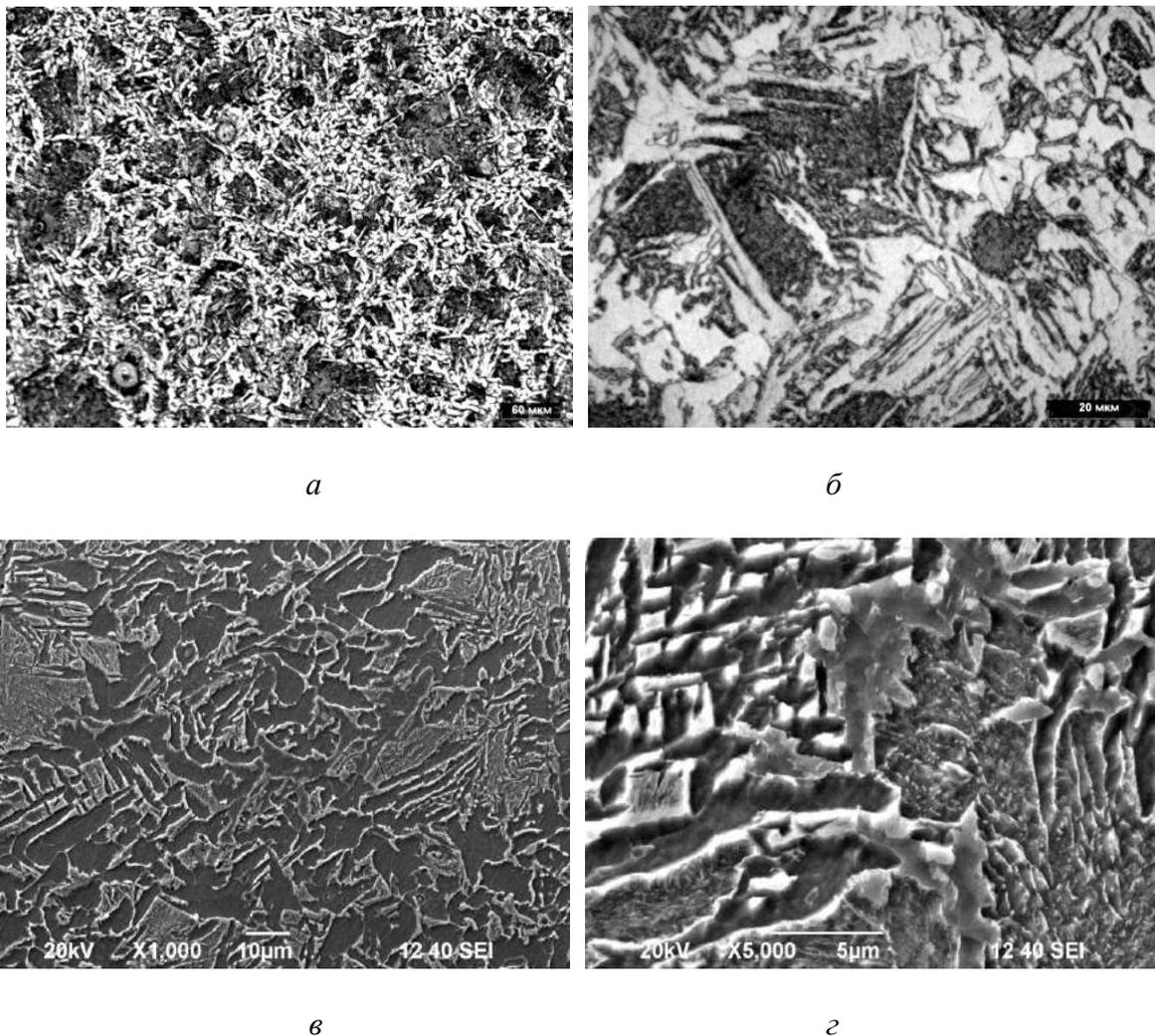
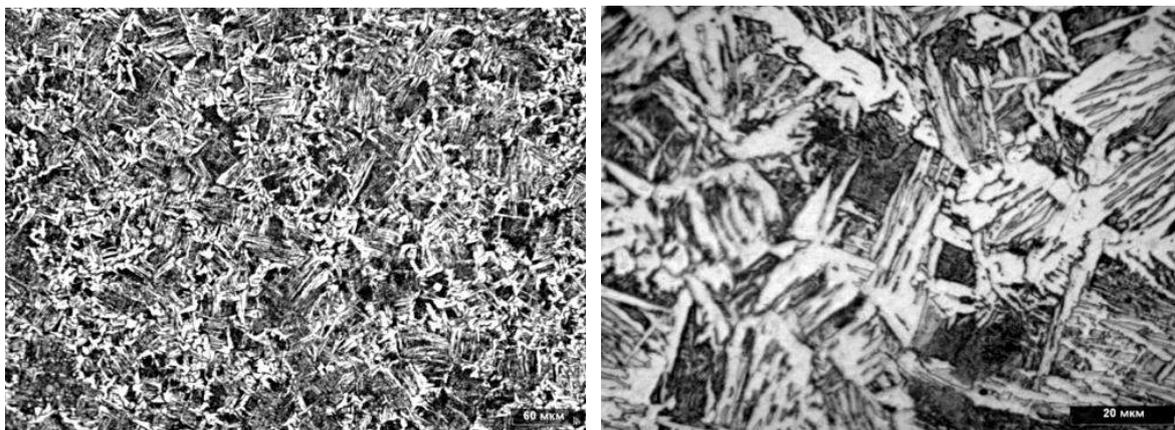


Рис. 4. Микроструктура стали марки 20 после обработки по режиму 2



a

б

Рис. 5. Характерная микроструктура стали марки 20 после обработки по режиму 3 и 4

Авторы выражают благодарность научному консультанту, проф., д-ру техн. наук Н.В. Копцевой.

Работа проведена в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства с участием высшего образовательного учреждения (контракт 02.G25.31.0040), программы стратегического развития университета на 2012 – 2016 гг. (конкурсная поддержка Министерства образования и науки РФ программ стратегического развития ГОУ ВПО), а также государственного задания Министерства образования и науки РФ (Задание № 11.1525/К от 18 июля 2014 г.).

Список литературы

1. Влияние больших деформаций в горячем состоянии на структуру и свойства низкоуглеродистой стали / Н.Г. Колбасников, О.Г. Зотов, В.В. Дураничев, А.А. Наумов, В.В. Мишин, Д.А. Рингенен // *Обработка металлов давлением*. 2009. № 4. С. 25- 31.
2. Исследование процесса динамической рекристаллизации в углеродистых сталях при горячей деформации на основании физического моделирования на комплексе Gleeble 3500 / М.П. Барышников, А.С. Ишимов, М.С. Жеребцов, Ю.Ю. Ефимова, О.А. Никитенко // *Инновационные технологии в машиностроении и материаловедении: сборник тезисов 2-й науч.-практ. конф. с междунар. участием*. Пермь: ПНИПУ, 2014. С. 30-33.
3. Барышников М.П., Ишимов А.С., Жеребцов М.С. Моделирование процессов с большими степенями накопленной деформации на исследовательском комплексе Gleeble 3500 // *Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 71-й межрегион. науч.-техн. конф.* / под ред. В.М. Колокольцева. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. Т. 1. С. 251-254.
4. Koptseva N.V., Chukin M.V., Nikitenko O.A. Use of the Thixomet PRO software for quantitative analysis of the ultrafine-grain structure of low-and medium-carbon steels subjected to equal channel angular pressing // *Metal Science and Heat Treatment*. 2012. Т. 54. № 7-8. С. 387-392.
5. Барышников М.П., Ишимов А.С., Жеребцов М.С. Исследование влияния температурно-временных и деформационных условий на сопротивление деформации стали 20 на комплексе физического моделирования Gleeble 3500 // *Научная дискуссия: вопросы технических наук: сборник статей по материалам XVI междунар. заочной науч.-практ. конф.* М.: Изд-во «Международный центр науки и образования», 2013. № 11 (13). С. 66-69.
6. Колокольцев В.М. Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. История. Развитие // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2014. № 1 (45). С. 5-6.
7. Производство многофункциональных сплавов инварного класса с повышенными эксплуатационными свойствами / В.М. Колокольцев, М.В. Чукин, Э.М. Голубчик, Ю.Л. Ро-

дионов, Н.Ю. Бухвалов // *Металлургические процессы и оборудование*. 2013. № 3 (33). С. 47-52.

8. Научная деятельность ГОУ ВПО «МГТУ» в условиях развития нанотехнологий / М.В. Чукин, В.М. Колокольцев, Г.С. Гун, В.М. Салганик, С.И. Платов // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2009. № 2 (26). С. 55-59.

References

1. Influence of large strain under hot conditions on structure and properties of low carbon steel / N.G. Kolbasnikov, O.G. Zotov, V.V. Duranichev, A.A. Naumov, V.V. Mishin, D.A. Ringenen // *Metal forming*. 2009. № 4. Pp. 25- 31.

2. Investigation of process of dynamic recrystallization during hot deformation based on physical modeling on Gleeble 3500 system / M.P. Baryshnikov, A.S. Ishimov, M.S. Zherebtsov, Yu.Yu. Efimova, O.A. Nikitenko // *Innovation technologies in machine building and material science: book of abstracts 2nd scientific and practical conference with international participation*. Perm: PSTU, 2014. Pp. 30-33.

3. Baryshnikov M.P., Ishimov A.S., Zherebtsov M.S.. Modeling of processes with large accumulated strain on research system Gleeble 3500 // *Actual problems of modern science, technology and education: Proceedings of the 71st inter-regional scientific and technical conference* / ed. V.M. Kolokoltsev. Magnitogorsk: NMSTU. Publ., 2013. T. 1. Pp. 251-254.

4. Koptseva N.V., Chukin M.V., Nikitenko O.A. Use of the Thixomet PRO software for quantitative analysis of the ultrafine-grain structure of low-and medium-carbon steels subjected to equal channel angular pressing // *Metal Science and Heat Treatment*. 2012. Vol. 54. № 7-8. Pp. 387-392.

5. Baryshnikov M.P., Ishimov A.S., Zherebtsov M.S.. Investigation of the effect of time-temperature and deformation conditions on the deformation resistance of steel 20 with complex of physical modeling Gleeble 3500 // *Scientific discussion: questions of technical sciences: a collection of articles based on the XVI International extramural scientific-practical conference*. M.: Publ. "International Centre for Education and Science", 2013. № 11 (13). Pp. 66-69.

6. Kolokoltsev V.M. Nosov Magnitogorsk State Technical University. History. Development // *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2014. № 1 (45). Pp. 5–6.

7. Production of invar multifunctional alloys with higher exploitation characteristics / V.M. Kolokoltsev, M.V. Chukin, E.M. Golubchik, Yu.L. Rodionov, N.Yu. Bukhvalov // *Metallurgical processes and equipment*. 2013. № 3. С. 47-52.

8. Chukin M.V., Kolokoltsev V.M., Gun G.S., Salganik V.M., Platov S.I. Scientific work of the State Educational Institution of Higher Professional Education “Magnitogorsk State Technical University” during nanotechnology development // *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2009. № 2 (26). Pp. 55-59.

УДК 621.771

РАЗРАБОТКА ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТАРЕЛЬЧАТЫХ ПРУЖИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛАСТИЧНОЙ МАТРИЦЫ

Зайдес С.А.¹, Кургузов С.А.², Михайлова У.В.²

¹*Национальный исследовательский*

«Иркутский государственный технический университет», Россия, г. Иркутск

²*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Россия*

Тарельчатые пружины широко используют в технике для гашения динамических и ударных нагрузок, возникающих в процессе работы машин (амортизаторы, буферные устройства и т.п.). Однако согласно многочисленным исследованиям и практическим испытани-

ям большой процент пружин в процессе эксплуатации при циклическом нагружении не выдерживает указанное в ГОСТ количество циклов ($2 \cdot 10^6$) [1]. Разрушение происходит из-за формирования усталостных трещин в кромке отверстия и из-за износа их контактных поверхностей. Дефекты поверхности кромок пружины, появляющиеся в процессе типовой штамповки, ускоряют зарождение усталостных трещин [2]. Применение дополнительной обработки кромок шлифованием или пластическим деформированием изменяет шероховатость, но удорожает процесс изготовления пружин [3].

Для устранения вышеуказанных дефектов разработали технологию изготовления тарельчатых пружин с использованием эластичной среды. Указанная технология позволяет в зоне образования трещин сформировать криволинейную образующую за счет утяжки металла кромки в процессе штамповки, и вследствие этого исключить применение операции приотупления кромок при изготовлении [4]. Разработана новая конструкция штампа для штамповки заготовки тарельчатых пружин с использованием эластичной среды (**рис. 1**) [5].

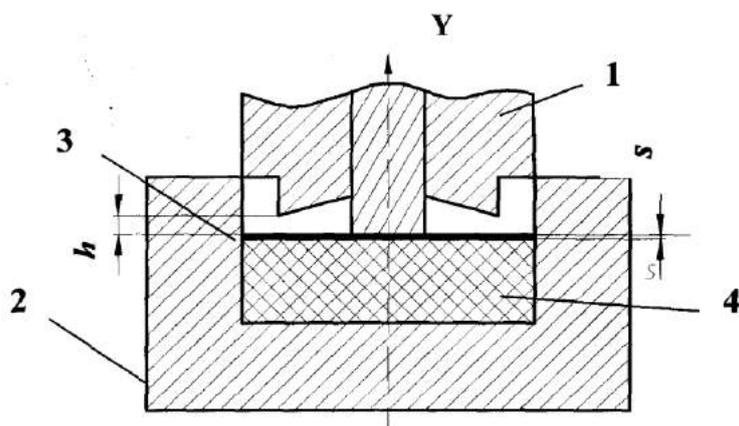


Рис. 1. Продольное сечение штампа:
1 – комбинированный пуансон; 2 – контейнер (матрица);
3 – заготовка; 4 – эластомер

Для использования разработанной технологии штамповки тарельчатых пружин эластичными средами в промышленности разработана конструкция промышленной штамповой оснастки (**рис. 2**). Штамповая оснастка состоит из прижима 1; пуансона, состоящего из двух частей: среднего вырубного пуансона 2, центрального пробивного пуансона 3, втулки 4 для фиксации высоты вырубного пуансона над пробивным пуансоном и матрицы в виде контейнера с эластичной средой 6 [6, 7].

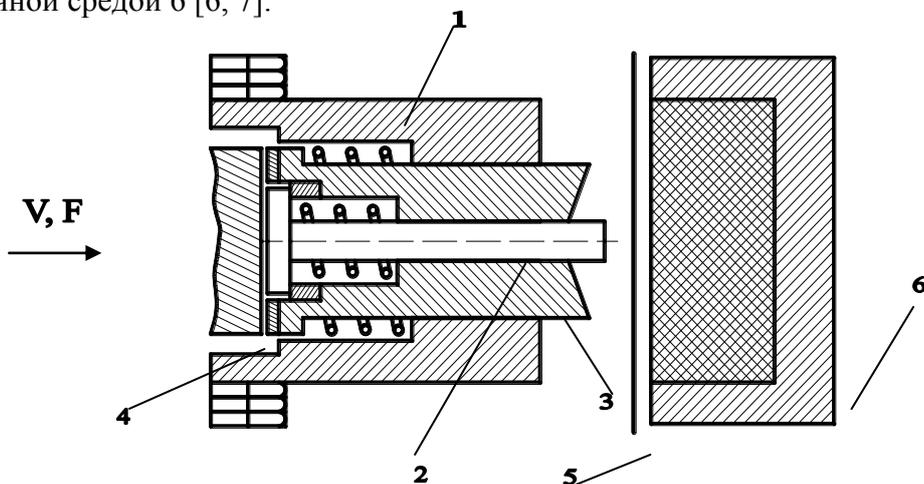
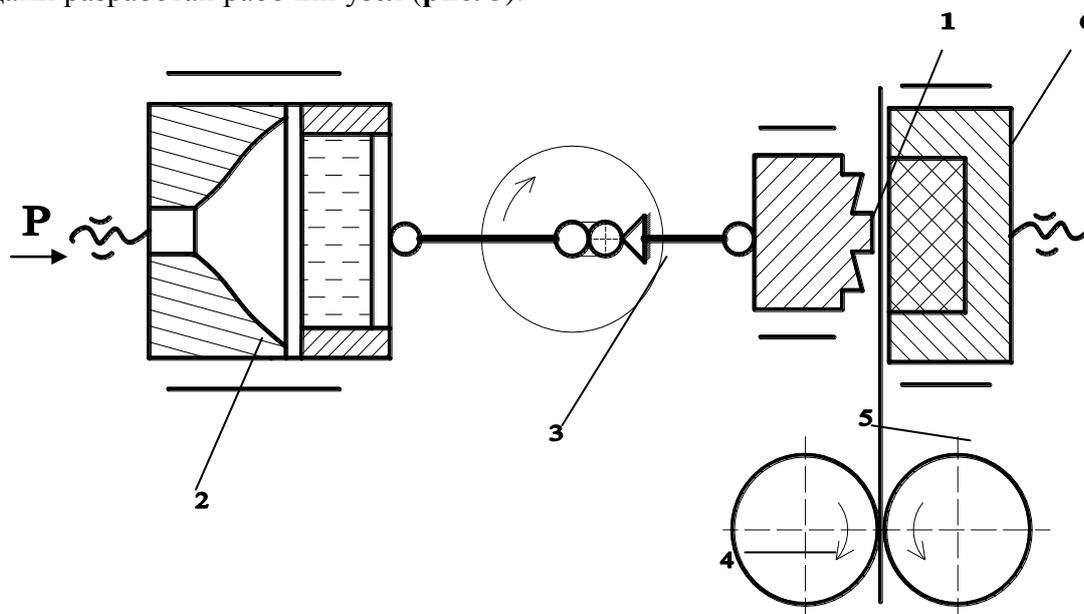


Рис. 2. Конструкция промышленной штамповой оснастки для штамповки тарельчатых пружин эластичными средами:
1 – прижим; 2 – вырубной пуансон; 3- пробивной пуансон;

4 – дистанционная втулка; 5 – заготовка; 6 – контейнер с эластичной средой

Центральный пробивной пуансон с диаметром, равным диаметру отверстия тарельчатой пружины предназначен для формирования ее отверстия. Средний формообразующий конусообразный пуансон с диаметром, равным наружному диаметру пружины, предназначенный для формирования конусной поверхности пружины и ее вырубке. Центральный пробивной пуансон выступает на величину h над средним вырубным пуансоном. Высоту h задает высота втулки 4. Матрицей в предложенной конструкции является контейнер с эластичной средой 6. При рабочем движении пуансона сначала прижим 1 фиксирует заготовка 5. При дальнейшем движении взаимодействуют центральный пробивной пуансон 3, заготовка 5 и эластичная матрица. В результате этого происходит пробивка отверстия тарельчатой пружины. Далее взаимодействуют средний вырубной пуансон 2, заготовка 5 и эластичная матрица - происходит формирование конусной поверхности и вырубка тарельчатой пружины по наружному диаметру. Коническая форма тарельчатой пружины происходит за счет утяжки металла в процессе штамповки. При обратном движении пуансона происходит извлечение тарельчатой пружины за счет подпружиненных вырубного и пробивного пуансона.

Предложенный способ штамповки заготовок тарельчатых пружин отличается от традиционных тем, что усилие штамповки выше из-за деформирования эластичной среды. Для использования разработанной технологии штамповки тарельчатых пружин эластичными средами разработан рабочий узел (рис. 3).



**Рис. 3. Кинематическая схема исполнительного узла для изготовления тарельчатых пружин с матрицей, наполненной эластичной средой:
1 – пуансон; 2 – гидropневматический уравнивающий механизм;
3 – кривошип; 4 – подающие ролики; 5 – заготовка;
6 – матрица с эластичной средой**

С целью компенсации усилия, затрачиваемого на сжатие эластичной среды применили пневмо-гидравлическое компенсирующее устройство 2 с переменной характеристикой усилия в зависимости от перемещения поршня (см. рис. 3) [6, 7]. Рабочий узел для изготовления тарельчатых пружин состоит из кривошипного механизма 3, двух шатунов, штампа для формообразования заготовки пружины 1, 6 и уравнивающего механизма 2. Гидропневматический уравнивающий механизм 2 состоит из корпуса гидропневмоцилиндра, поршня, корпуса пневмокамеры, мембраны и жидкости. Форма пневмокамеры с параболической образующей обеспечит переменную характеристику усилия в зависимости от хода поршня. В процессе штамповки усилие с кривошипа передается на поршень гидроцилиндра и далее через рабочее тело - масло на диафрагму. При деформации

последней диаметр площади контакта увеличивается и, как следствие, возрастает усилие на поршне, а далее - на кривошипе. Изменение формы пневмокамеры и давления в пневмосистеме позволяет компенсировать усилие сжатия упругой части матрицы.

Таким образом, предложенная конструкция кривошипного пресса и штамповой оснастки позволяет снизить затраты на производство, устранить дефекты поверхности кромок пружины, а также снизить энергозатраты на сжатие эластичной среды при штамповке заготовок тарельчатых пружин.

Список литературы

1. Железков О.С., Михайлова У.В. Особенности штамповки тарельчатых пружин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2007. № 4 (20). С. 59 – 60.
2. Михайлова У.В. Оптимизация конструктивных параметров тарельчатых пружин // Технология машиностроения. 2009. № 11. С. 32 – 33.
3. Волков А.А., Кургузов С.А., Сидоренко В.В. Формирование заданной шероховатости поверхности и упрочнение деталей при выглаживании // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2009. № 10. С. 16-20.
4. Михайлова У.В. Математическое моделирование процессов штамповки эластичными средами // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 68-й науч.-техн. конф. Магнитогорск, МГТУ, 2010. Т.2. С. 134-136.
5. Михайлова У.В. Разработка и расчет процессов штамповки тарельчатых пружин эластичными средами // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 68-й науч.-техн. конф. Магнитогорск: МГТУ, 2010. Т.1. С. 315-319.
6. Михайлова У.В. Совершенствование технологии изготовления специальных тарельчатых пружин с использованием эластичной среды: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.09 / Михайлова Ульяна Владимировна. Магнитогорск, 2011. 16 с.
7. Михайлова У.В. Совершенствование технологии изготовления специальных тарельчатых пружин с использованием эластичной среды: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.09 / Михайлова Ульяна Владимировна. Магнитогорск, 2011. 129 с.

References

1. Zhelezkov O.S., Mikhailova U.V. Features of plate springs punching // Vestnik of Nosov Magnitogorsk state technical university. 2007. № 4 (20). Pp. 59-60.
2. Mikhailova U.V. Disk-shaped springs constructive parameters optimization. Mechanical engineering technologies. 2009. № 11. Pp. 32-33.
3. Volkov A.A., Kurguzov S.A., Sidorenko V.V. Specified surface roughness obtaining and components strengthening during smothering // Forging and forming production. Metal forming. 2009. № 10. Pp. 16 – 20.
4. Mikhailova U.V. Disk-shaped springs elastic medium forging mathematical simulation // State-of-the art science, engineering and education actual problems: collection of scientific papers 68 scientific and technol. conf. Magnitogorsk, MGTU, 2010. V. 2. Pp. 134 – 136.
5. Mikhailova U.V. Disk-shaped springs elastic medium forging designing and calculation // State-of-the art science, engineering and education actual problems: collection of scientific papers 68 scientific and technol. conf. Magnitogorsk, MGTU, 2010. V. 1. Pp. 315 - 319.
6. Mikhailova U.V. Improvement of special disc springs manufacturing technology with elastic medium: synopsis Ph.D. in technology / Mikhailova Ulyana Vladimirovna. Magnitogorsk, 2011. 16 p.
7. Mikhailova U.V. Improvement of special disc springs manufacturing technology with elastic medium: thesis Ph.D. in technology / Mikhailova Ulyana Vladimirovna. Magnitogorsk, 2011. 129 p.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТРЕБОВАНИЙ К АРМАТУРНОМУ ПРОКАТУ ДЛЯ НЕНАПРЯЖЕННОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

Снимщиков С.В.¹, Суриков И.Н.¹, Харитонов А.В.¹, Харитонов В.А.²

¹Сертификационный центр ОАО «НИЦ «Строительство»,
Министерство строительства и ЖКХ РФ, г. Москва, Россия

²ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

Сегодня в Европе, как и во многих других странах мира, меняется стратегия развития производства арматурного проката. Это связано с серьезным пересмотром требований безопасности к строительным объектам. Уровень безопасности и надежности строительного объекта определяется проектом, где закладываются те необходимые характеристики материала, которые при дальнейшей эксплуатации обеспечат условия для его безопасности и надежности. Отказ от некоторых математических допущений и применение нелинейной деформационной модели при расчете железобетона показали, что с увеличением нагрузок нелинейность свойств бетона и арматуры при их совместной работе может вызывать перераспределение напряжений между ними. Это изменило понимание того, что для активного сопротивления деформативности железобетона при сложных нагрузках важны не столько высокие прочностные свойства арматуры, сколько высокие пластические свойства при хорошем сцеплении с бетоном при их совместной работе. Существенно расширить понимание влияния пластичности арматуры на конструктивную систему строительного сооружения и получить доступность для расчетов позволила разработка Британского стандарта (British Standard) BS 8110 – «Structural use of concrete». Впоследствии его заменил Eurocode 2 с Национальными приложениями. По сути дела высокая пластичность арматуры в железобетонных конструкциях, благодаря своему энергетическому потенциалу снижения не только величины, но и амплитуды разрушительных нагрузок, является своего рода энергетической мерой защиты (количественно – это величина статической вязкости) строительного сооружения на многие десятилетия его эксплуатации вперед, причем наиболее дешевой, но очень эффективной. Чем выше пластичность, тем выше мера защиты. Такое положение дел сегодня открывает для ненапряженного железобетона с высокопластичной арматурой совершенно новые возможности применения как надежного и эффективного композитного материала XXI века. Для оценки пластических свойств арматурного проката, согласно рекомендациям известных норм проектирования, например, Eurocode (Европа), EHE (Испания), ASCE/SEI (США) и др., применяются следующие показатели:

f_s/f_y – отношение временного сопротивления разрыву к пределу текучести;

A_{gt} , % – полное равномерное удлинение при максимальной нагрузке;

A_5 , % – относительное удлинение, измеряемое в месте разрыва на отрезке $5d$.

Сегодня в Европе и некоторых мировых странах ведется обсуждение о введении единого энергетического показателя пластичности арматурного проката – индекса вязкости (пластичности) « I_d ». Это количественный безразмерный индекс. Он определяется как отношение полной площади под диаграммой σ – ε к той ее части, которая отделена прямой Гука («упругой» части). В нормах проектирования Испании EHE (La Instrucción d e Hormigón Estructural EHE-08) такой показатель для различных классов уже введен. Сегодня испанские производители арматурного проката уже используют этот показатель для оценки и сравнения уровней пластичности арматурного проката различных классов.

Европейские производители практически уже завершили работу по созданию нормативной, технологической и производственной базы для производства высокопластичного проката [1]. Началом для этого стала разработанная компанией «PITTINI GROUP» (Италия) сталь «PITTINI» и совместно с компанией «DANIELI» (Италия) способ производства из нее

высокопластичного арматурного проката с маркировкой «HD» («High Ductility») – высокая пластичность, англ). Благодаря технологии управляемого охлаждения проката в линии прокатки, впервые в мире на металлургическом предприятии «PITTINI GROUP» «FERRIERO NORD S.p.A» (Osoppo, Италия) началось производство высокопластичного горячекатаного проката в большеобъемных компактных бухтах рядной смотки. В зависимости от массы исходной заготовки завода-производителя масса бухты «JUMBO PITTINI» составляет, в основном, 2-2,6 т. Благодаря высокой компактности бухт в сочетании с качеством, продукция с маркировкой «JUMBO HD PITTINI», выпускаемая как по стандарту «PITTINI», так и по национальным нормам D.M.14/01/2008, имеет высокую востребованность и конкурентоспособность. Аналогичный высокопластичный арматурный прокат с маркировкой «SD» («Soldable Ductilidad») – свариваемый, пластичный, испан.) в Европе сегодня производит компания «STOMANA INDUSTRY», размещенная на территории Болгарии и входящая в группу «SIDENOR GROUP» (Греция). Другая греческая компания «Hellenic Halyvourgia», входящая в национальную группу «PLOUSSOS SIFAKIS» и также производящая высокопластичный арматурный прокат, в качестве его отличительной маркировки применяет товарную марку «EXΘ». Греческая компания «HALYVOURGIKI» производит термически упрочненный арматурный прокат под маркой «HEAT TREATED STEEL» и легированный ванадием под маркой «VANADIUM STEEL» с соответствующими маркировками на самом прокате «X» и «V». Оба продукта отвечают всем требованиям к прокату по классу B500C национального стандарта ELOT 1421-3:2007 и имеют специальные требования к пластическим свойствам. Причем, прокат с маркой «VANADIUM STEEL» в отличие от термически упрочненного проката, имеет улучшенную свариваемость, пониженную склонность к изменению механических свойств от нагрева при пожаре (огнестойкость) и высокую коррозионную устойчивость. Вслед за компанией «PITTINI GROUP» (Италия) компания «GRUPO CELSA» (Испания) на своих заводах «CELSA BARCELONA», «CELSA HUTA OSTROWEC», «CELSA ATLANTIC», и «NERVACERO» разместила SPOLLER линии для производства высокопластичного арматурного проката общим объемом производства более 2-х млн. т в год, заняв, тем самым, лидирующие позиции в мире. Для получения отличительных признаков такого производства и продукции последней была присвоена товарная марка «CELSAMAX». На предприятиях компании «GRUPO CELSA» под разными марками производится несколько видов высокопластичного арматурного проката с разными профилями. Прежде всего, это арматурный прокат с маркой «DUCTICELSA 500 SD» и маркой «NERVADUCTIL 500 SD». Он производится на разных заводах (отсюда и разные товарные марки) по одинаковой технологии из непрерывнолитой заготовки с контролем режимов охлаждения на окончательной фазе прокатки. Оба продукта отвечают всем требованиям к прокату по классу B500C, перечисленным в национальном стандарте UNE 3065:2000 – EX и имеют специальные параметры по пластичности.

Предпочтительные области применения такого проката:

- в железобетоне объектов для сейсмически активных областей;
- в конструкциях и объектах, которые рассчитываются по нелинейным деформационным моделям и где допускаются расчетами перераспределение усилий, в том числе и значительные;
- в конструкциях и объектах, при оценке характера эксплуатации которых нельзя точно знать о влиянии динамических нагрузок, например, экстремальная подвижка, усадка и ползучесть грунтов;
- в объектах, где велика вероятность возникновения пожаров.

В связи с реализацией в Европе политики применения высокопластичного арматурного проката в последнее время звучит серьезная критика европейских экспертов и законодателей в области железобетона в адрес арматурного проката категории «А», который традиционно производится методом «COLD ROLLED». Прежде всего, из-за значительной разницы показателей пластичности Agt, уже достигнутой у производителей, например, проката прочности

500 марки «AGT 8» ($Agt \geq 8 \%$) или марки «CELSAMAX» ($Agt \geq 10 \%$) и проката категории «А» ($Agt \geq 2,5 \%$).

Прогресс в развитии методик и оборудования для исследований в области железобетона и арматуры выявил многочисленные факты повышенной хрупкости проката категории пластичности «А», по сравнению с горячекатаным в эксплуатационных условиях (в особенности при циклических усталостных испытаниях). Так, результаты проведенных исследований в университетах городов Турина и Павиа показали, что при циклических испытаниях плит, изготовленных с применением горячекатаного и холоднодеформированного арматурного проката, последние показали существенное снижение числа циклов нагружения из-за хрупкого разрушения арматуры.

Из-за обнаруженной склонности к хрупкому разрушению к такому прокату проявляется настороженность, которая реализуется в виде существенных ограничений областей применения изделий из него по уровню ответственности и введения коэффициента надежности по арматуре, равного 1,2 при расчете изделий ответственного назначения [2]. Приоритетными областями использования арматурного проката категории пластичности «А» в Европе пока остаются, прежде всего, те, где при изготовлении сеточной сварной продукции требуются (даже для европейских производителей) нестандартные размеры арматурного проката или проволочные размеры. Для улучшения пластических свойств холоднодеформированного проката в соответствии с DIN 1045-1 в Европе с конца 2010 года на заводе «Van Merksteijn Steel B.V.» (Нидерланды) начали выпускать новые типы безреберных периодических холоднодеформированных профилей (принцип Sonderripping). Так, в соответствии с нормативом Z-1.2-193 от 14.12.2010 г. (DEUTSCHE INSINUN FÜR BAUTECHNIK, (DIBt), Германия) производится 12-ти гранный периодический профиль класса BSt 500KR(A) под товарной маркой «Europrofil» в бухтах. После рихтовки показатель Agt с достоверностью 90 % гарантируется не ниже 5 %, а отношение Rm/Re при такой же достоверности не ниже 1,08. По нормативу Z-1.2-162 от 04.12.2010 г. (DIBt, Германия) там же производится 6-ти гранный периодический профиль класса BSt 500KR(A) под маркой «МК6 Profil». После рихтовки показатель Agt с достоверностью 90 % гарантируется не ниже 3,3 %, а отношение Rm/Re при такой же достоверности не ниже 1,07. Таким образом, европейские производители пытаются вывести производство проката категории пластичности «А» на новый виток [3].

В табл. 1 приведены основные данные нормативных документов (НД), по которым производится высокопластичный арматурный прокат за рубежом, а в табл. 2 приведены основные данные отечественных НД, по которым производится арматурный прокат класса А400С и А500С в России.

Таблица 1

Основные технические требования к высокопластичному арматурному прокату за рубежом

Страна	Стандарт	Класс	R_m , МПа	R_e , МПа	A_5 , % не менее	Agt , % не менее	R_m/Re
США	ASTM A706	Gr 60	420-540	550	14	-	>1,25
Австралия	AS/NSZ 4671	Gr500E	500-600	-	-	10	1,15-1,40
Новая Зеландия		Gr300E	300-380	-	-	15	1,15-1,50
Великобритания	BS 4449	B500C	500-650	-	-	7,5	1,15-1,35
Норвегия	NS 3576	B500C	500-650	-	-	7,5	1,15-1,35
Греция	Elot 1421-3	B500C	500-650	-	-	7,5	1,15-1,35
Италия	UNI 6407	FeB44 K	450-560	-	-	7	1,13-1,35
Испания	UNE 36065	B400SD	400-480	480	20	9	1,15-1,35
		B500SD	500-625	575	16	8	1,15-1,35
Португалия	E455	A400NR SD	400-480	-	-	8	1,15-1,35
	E460	A500NR SD	500-600	-	-	8	1,15-1,35
Канада	CSA.G.30.18-M92	Gr400	400-525	560	13	-	>1,15
		Gr500	500-625	625	12	-	>1,15
Сингапур	SS 560	B500C	500-650	-	-	7,5	1,15-1,35

Как видно из **табл. 2**, мы практически производим и применяем прокат, соответствующий современной европейской классификации такой, как прокат категории «А», каким бы способом мы его не производили – горячим или холодным. Действующие в настоящее время НД на арматурный прокат не позволяют отечественному производителю выпускать арматурный прокат, отвечающий всем современным требованиям. В том числе и по безопасности. Совершенно очевидно, что для получения отечественного высокопластичного арматурного проката категории «С» необходима оперативная разработка новых НД, как на производство арматурного проката, так и на его применение.

Таблица 2

Основные технические требования к арматурному прокату в России

Норматив	Класс	Технические требования к арматурному прокату				
		σ_T , МПа, не менее	σ_B , МПа, не менее	σ_B / σ_T , не менее	δ_5 , %, не менее	δ_{max} / δ_p , %, не менее
СТО АСЧМ 7-93	A400С	400	500	1,05	16	2,5/2,0
	A500С	500	600	1,05	14	2,5/2,0
ГОСТ Р 52544-2006	A500С	500	600	1,08	14	-
	B500С	500	550	1,05	-	2,5/2,0

Список литературы

1. Харитонов В.А., Харитонов Вик.В., Сокол Х. Современные тенденции развития арматурного проката для ненапряженного железобетона: Европа–Россия // *СтройМеталл*. 2011. № 2 (21). С. 8-20.
2. Харитонов В.А., Харитонов Вик.В., Сокол Х. Больше, чем холоднодеформированный прокат // *Металлоснабжение и сбыт*. 2009. № 9. С. 52-57.
3. Харитонов В.А., Харитонов Вик.В., Иванцов А.Б. Обработка бунтовой арматурной стали по схеме «Растяжение–знакопеременный изгиб» (Технология, теория, оборудование) // *Металлург*. 2010. № 4. С. 78-83.

References

1. Kharitonov V.A., Kharitonov Vik.A., Sokol H. Modern trends in unstressed concrete reinforcing bars development: Europe–Russia // *StroyMetal*. 2011. № 2(21). Pp. 8–20.
2. Kharitonov V.A., Kharitonov Vik.A., Sokol H. More than cold processed rolling // *Metal supply and sale*. 2009. № 9. Pp. 52 – 57.
3. Kharitonov V.A., Kharitonov Vik.A. Coiled reinforcing steel processing to the scheme “tension - alternating-sign bending” (technology, theory, equipment) // *Metallurg*. 2010. № 4. Pp. 78–83.

УДК 621.771

СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ТРУБ С ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНОЙ СТЕНКИ

Паршина А.А.

*ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина»,
г. Екатеринбург, Россия*

Современные требования по внедрению рациональных и ресурсосберегающих технологий создают все предпосылки к использованию в технике узкоспециальных полуфабрика-

тов, в частности, специальных трубных профилей. Известны трубы, имеющие переменную по периметру поперечного сечения толщину стенки (**рис. 1**).

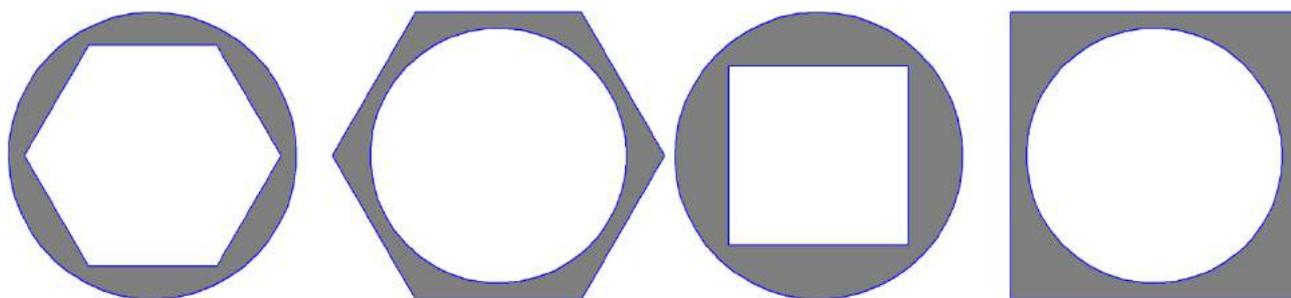


Рис. 1. Профили поперечного сечения труб с переменной толщиной стенки

К этому типу относятся трубы с наружным шестигранным и круглым внутренним профилем. Они находят применение в атомном и теплотехническом машиностроении [1], метизном производстве [2]. Трубы со схожим профилем применяются в нефтегазовой отрасли [3]. Особенности области использования этого вида труб приводят к появлению специфических требований к точности профиля поперечного сечения трубы – малым радиусам скругления на ребрах профиля, высокой прямолинейности граней.

Такие трубы обычно получают волочением в профильной волоке шестигранного профиля (исследования показывают, что оптимальной по нескольким параметрам является форма канала волоки с плавным переходом из круглого в шестигранный профиль). Для получения круглого внутреннего профиля используется цилиндрическая оправка. Процесс волочения сопровождается значительным уровнем пластических деформаций, что обусловлено наличием течения металла из зон с малой толщиной стенки (середины граней профиля) в зоны с ее большой толщиной (ребра профиля). Сложность процесса требует использования для анализа формоизменения современной компьютерной реализации метода конечных элементов – пакета AnSYS [2].

Требования получения минимальных радиусов скругления на ребрах профиля на практике пытаются удовлетворить за счет волочильного инструмента, имеющего в соответствующих участках нескругленный, «острый» профиль. Такое решение имеет недостаток, связанный с появлением на этих участках зазора, вследствие неполного заполнения металлом просвета волоки, который, в свою очередь, приводит к возникновению неблагоприятного напряженного состояния (с двухосным растяжением), снижению пластичности, а в предельном состоянии – появлению трещин и разрушению в этой зоне.

Конечно–элементное моделирование процесса на современном этапе позволяет предсказать величину получаемого «естественного» радиуса скругления при вершине, с тем, чтобы спроектировать инструмент, имеющий несколько большие значения радиусов на гранях, и обеспечивающий напряженное состояние, более близкое к оптимальному всестороннему сжатию.

Наличие пластического течения в объеме стенки трубы потребовало задания такой плотности конечно–элементной сетки, при которой по толщине стенки трубы имеется несколько конечных элементов. Вследствие относительно тонкой стенки, общее количество конечных элементов модели составляет несколько десятков тысяч, что при использовании нелинейной модели приводит к значительному времени решения. С целью снижения этого времени была построена модель с использованием принципов плоскостной симметрии шестого порядка.

При пробном решении было проведено определение стабильности разбивки, включавшей итерационный процесс последовательного сгущения сетки с контролем ключевых интегральных результатов решения в заданных точках (величины интенсивности напряжений и

деформаций). По результатам была принята плотность сетки, отвечающая выбранной точности решения, соответствующей точности замеров на натурной модели.

Модель включала три конечно–элементных модели – профильной волоки, трубной заготовки и оправки. Свойства исследованных материалов (сталь марки 12Х18Н10Т, латунь Л63, сталь марки 20, титан ВТ 1-0) были заданы в виде мультилинейных кинематических зависимостей. Решение задачи позволило определить форму получаемой трубы, которая соответствует таковой для натурной трубы (**рис. 2**).

Расчет состоял из трех основных этапов:

- предварительного, производимого с низкой плотностью конечно–элементной сетки, и предназначенного для проверки правильности задания граничных условий и исходной геометрии;

- основного, с плотностью конечно–элементной сетки, эквивалентной 4-5 элементам по толщине стенки трубы в самом тонком месте профиля, и предназначенного для отыскания геометрии получаемой трубы, компонентов напряженного и деформированного состояния, схемы распределения давления на инструмент, энергосиловых параметров процесса.

- дополнительного, производимого при дополнительном сгущении сетки в зонах заготовки, соответствующих граням будущего профиля, и предназначенного для поиска радиуса скругления на ребрах профиля.

Таким образом, конечно–элементное моделирование процесса волочения труб позволяет предсказать формоизменение для конкретных типоразмеров исходной заготовки и инструмента, что позволяет подобрать их для получения требуемых параметров (размеров, точности) готовой продукции.

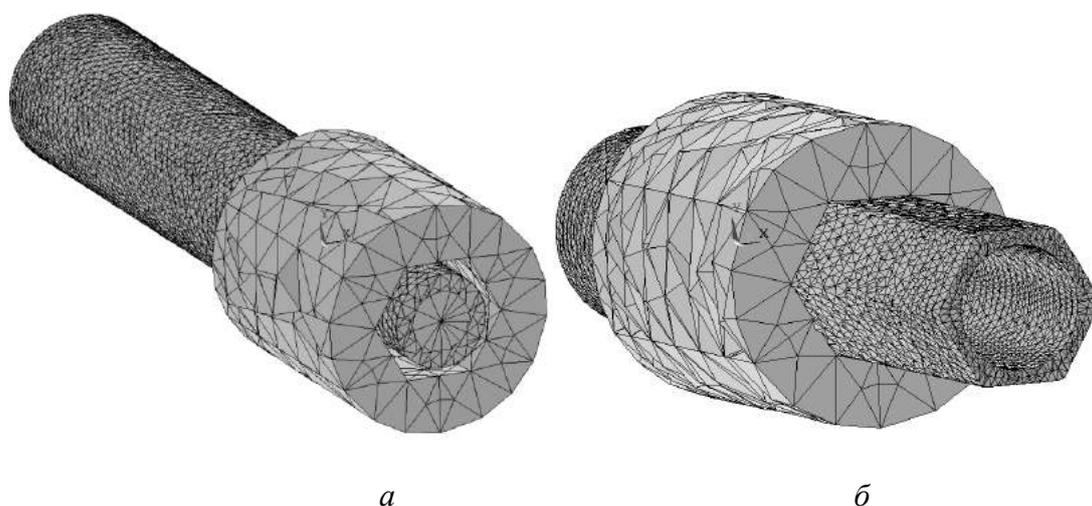


Рис. 2. Конечно–элементная модель процесса волочения:
***a* – исходное состояние; *б* - конечное состояние**

Важной особенностью используемого метода является возможность анализа деформированного и напряженного состояния трубной заготовки, определения давления на инструмент, значений поврежденности материала трубы, в частности, на **рис. 3** показана схема распределения интенсивности пластических деформаций по профилю поперечного сечения. Это позволяет предсказать факторы надежности готовых труб, выбрать рациональный профиль инструмента, снизить энергоемкость процесса.

Представляется возможным также установить формоизменение для конкретного материала трубной заготовки, для чего в качестве исходных параметров, используемых при решении задачи, использовать реально полученные (например, на испытательной машине) пластические свойства материала.

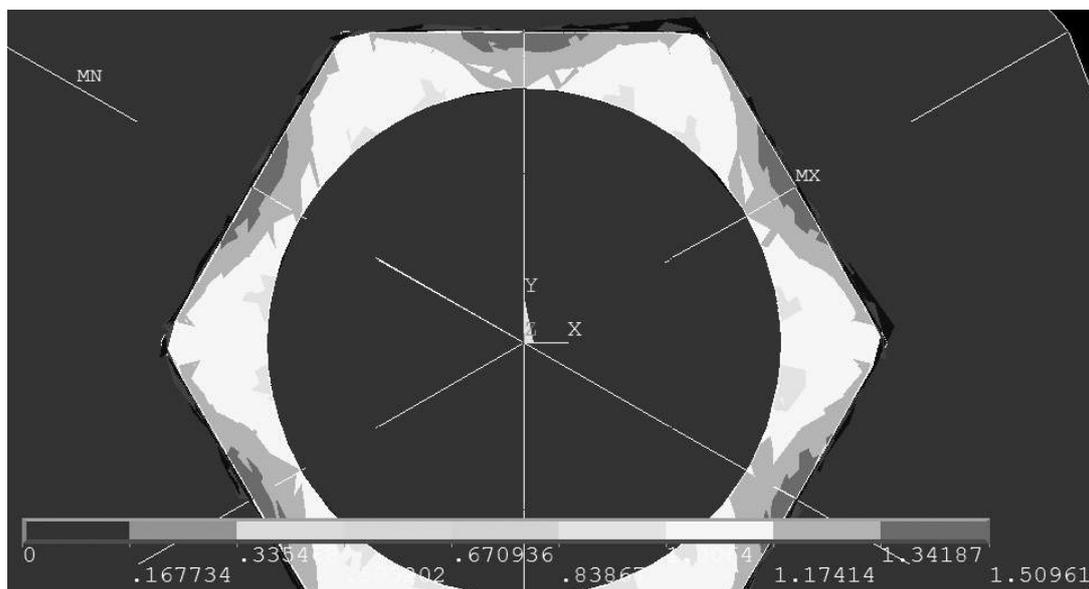


Рис. 3. Распределение интенсивности пластических деформаций по профилю поперечного сечения (более темные участки соответствуют более высоким значениям величины)

Анализ значений радиусов граней профиля, получаемых на модели готовой трубы, позволяет совместно с отысканием значений поврежденности металла не только предсказать надежность готовой продукции, но и повысить ее путем использования рациональной геометрии профилирующего инструмента.

Следует отметить, что задача отыскания параметров очага деформации при получении труб с переменной толщиной стенки решена впервые, а об актуальности ее говорит широкая применимость данного типа труб, повышение качества которых позволит в значительной степени повысить конкурентоспособность этой продукции на рынке.

Список литературы

1. Коваленко Л.М., Глушков А.Ф. Теплообменники с интенсификацией теплоотдачи. М.: Энергоатомиздат, 1986. 259 с.
2. Данченко В.Н., Сергеев В.В., Никулин Э.В. Производство профильных труб. М.: Интернет инжиниринг, 2003. 224 с.
3. Трубы для нефтяной промышленности / В.А. Ткаченко, А.А. Шевченко, В.И. Стрижак и др. // М.: Metallurgiya, 1986. 256 с.
4. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах / под общ.ред. Д.Г. Красковского. М.: Компьютер Пресс, 2002. 224 с.

References

1. Kovalenko L.M., Glushkov A.F. Heat exchangers with heat transfer enhancement. M.: Energoatomizdat, 1986. 259 p.
2. Danchenko V.N., Sergeev V.V., Nikulin E.V. Profiled pipes production. M.: Internet engineering, 2003. 224 p.
3. Pipes for oil industry / V.A. Tkachenko, A.A. Shevchenko, V.I. Strizhak and others // m.: Metallurgiya, 1986. 256 p.
4. Basov K.A. ANSYS in examples and tasks / under general ed. D.G. Kraskovskiy. M.: Computer Press, 2002. 224 p.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА КАНАТНОЙ ПРОВОЛОКИ И СТАЛЬНЫХ КАНАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ МНОЖЕСТВЕННОГО РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА

Бородина Е.Н., Шубин И.Г., Румянцев М.И.

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

В условиях жесткой конкуренции и повышения требований к качеству на рынке метизной продукции, из которой наибольший объем составляет канатная проволока и стальные канаты, необходимо использовать современные методы управления качеством.

Качество стальных канатов во многом зависит от качества канатной проволоки и технологических параметров их производства.

Для управления качеством стальных канатов и улучшения технологии их производства использовался множественный регрессионный анализ, который позволяет получить математические модели влияния факторов на отклик, что используется для прогнозирования получения заданных значений показателей качества канатной проволоки и канатов, и последующего изменения комплексного показателя действенности технологии волочения канатной проволоки и свивки канатов.

Для построения взаимосвязей показателей качества канатной проволоки по ГОСТ 7372-79 была сформирована выборка, включающая показатели качества высокоуглеродистой канатной катанки ТУ 14-101-582-2009: $\sigma_{в1}$ - временное сопротивление разрыву; λ_1 - относительное удлинение; ψ_1 - относительное сужение; $B_{пл}$ - пластинчатый перлит 1-2 балла и $C_{эКВ}$ - углеродный эквивалент; технологические факторы производства проволоки: $T_{ТО}$ - температура ванны патентирования, $V_{ТО}$ - скорость прохождения проволоки через ванну патентирования, δ_{Σ} - суммарное обжатие, V_2 - скорость волочения; и показатели качества канатной проволоки: $\sigma_{в2}$ - временное сопротивление разрыву, Γ_2 - число перегибов, $Скр_2$ - число скручиваний.

С помощью регрессионного анализа по методу включения переменных в программе Statistica получили уравнения регрессии, содержащие факторы, которые наиболее значимо влияют на показатели качества канатной проволоки (табл. 1).

С доверительной вероятностью 95 % статистически значимыми являются все полученные уравнения. Погрешность полученных математических моделей находится в пределах 2,0-13,7 %, поэтому они могут быть использованы для прогнозирования и оценки изменения показателей качества канатной проволоки.

Таблица 1

Уравнения регрессии для определения показателей качества канатной проволоки

Уравнение	R^2	$F_{табл}$	F_p	Стандартная ошибка	Погрешность, %
$\sigma_{в2} = 74,61436 + 0,173944 \cdot B_{пл} + 0,51606 \cdot \psi_1 + 1,15969 \cdot \delta_{\Sigma} + 0,8873 \cdot \lambda_1 + 35,21454 \cdot C_{эКВ} - 0,10832 \cdot T_{ТО}$	0,91	6,29	97,12	3,769	2,1
$\Gamma_2 = -11,8004 + 0,1713 \cdot \psi_1 + 0,31508 \cdot B_{пл} - 42,2125 \cdot C_{эКВ} + 0,0739 \cdot T_{ТО} - 0,3339 \cdot \lambda_1 - 0,1147 \cdot \sigma_{в1} + 0,8162 \cdot V_2$	0,77	7,28	17,54	1,672	13,7
$Скр_2 = 19,82512 + 0,89794 \cdot V_2 + 7,792 \cdot V_{ТО} - 0,11632 \cdot \psi_1 + 0,095597 \cdot B_{пл} - 0,16558 \cdot \delta_{\Sigma} + 0,02743 \cdot T_{ТО}$	0,87	6,29	20,58	1,059	3,5

При построении универсальных зависимостей показателей качества канатов от показателей качества свиваемой канатной проволоки и технологических параметров производства канатов целесообразно использовать инвариантные данные.

Исходные данные включают в себя механические свойства свиваемых канатных проволок, технологические параметры производства и механические свойства раскрученных проволок из канатов. Массив данных для статистической обработки был сформирован применительно к канатам типа ЛК-РО конструкции $6 \times 36 (1+7+7/7+14)+7 \times 7(1+6)$ диаметром 45,5 мм по ГОСТ 7669-80. В массив инвариантных данных вошли следующие факторы: $\sigma_{в2}/\sigma_{н}$ - отношение временного сопротивления разрыву свиваемых канатных проволок к номинальному значению временного сопротивления; $O/H_{св}$ - отношение отклонения среднего ролика преформатора к шагу свивки каната; $H_{св}/L$ - отношение шага свивки каната к расстоянию между роликами преформатора; $d_2/H_{св}$ - отношение диаметра исходной канатной проволоки к шагу свивки каната; $d_2/d_{пл}$ - отношение диаметра свиваемой канатной проволоки к диаметру канала плашек; d_2/d_3 - отношение диаметра свиваемой канатной проволоки к диаметру каната; $C_{эКВ}$ - углеродный эквивалент; $\kappa/\sigma_{в2}$ - отношение усилия натяжения на каретках к временному сопротивлению разрыву свиваемой канатной проволоки; V/d_3 - отношение скорости свивки к диаметру каната. Результаты множественного регрессионного анализа представлены в табл. 2.

Таблица 2

Уравнения регрессии для определения показателей качества канатов

Уравнение регрессии	R^2	$F_{табл}$	F_p	Стандартная ошибка	Погрешность, %
$\sigma_{в3} = 9,6 + 154,03 \cdot \sigma_{в2}/\sigma_{н} + 27,75 \cdot C_{эКВ} - 18,51 \cdot O/H_{св}$	0,93	3,22	106,8	6,745	3,6
$\Gamma_3 = 73,67 - 26,84 \cdot \sigma_{в2}/\sigma_{н} - 22,34 \cdot C_{эКВ} - 10,58 \cdot V/d_3 - 20,36 \cdot \kappa/\sigma_{в2} + 290,82 \cdot d_2/H_{св}$	0,77	5,22	15,88	3,259	22,8
$Скр_3 = 79,52 + 15 \cdot V/d_3 - 62,7 \cdot d_2/d_3 - 11,53 \cdot C_{эКВ} - 17,74 \cdot O/H_{св} - 40,17 \cdot H_{св}/L - 18,52 \cdot d_2/d_{пл}$	0,83	6,22	19,15	2,862	9

С доверительной вероятностью 95 % статистически значимыми являются все полученные уравнения. Взаимосвязи могут быть использованы для прогнозирования и оценки изменения показателей качества канатов.

Для выбора значений показателей качества исходной заготовки и технологических параметров производства канатной проволоки и канатов с использованием инструментария модуля «поиск решений» MS EXSEL разработана программа на основе полученных регрессионных зависимостей, которая позволяет обеспечить получение заданных значений показателей качества канатной проволоки и канатов. Интерфейс программы представлен на рисунке.

В качестве исходных данных можно выбрать продукцию: канатную проволоку или канат, показатели качества, которые необходимо получить, и их целевые значения, а также диаметр каната и проволоки.

На основе заданных исходных данных программа подбирает наилучшие сочетания технологических параметров производства канатов и показателей качества свиваемой канатной проволоки с помощью уравнений регрессии. С учетом полученных значений показателей качества свиваемой проволоки определяются значения показателей качества катанки и технологические параметры производства канатной проволоки на основе полученных регрессионных зависимостей.

В целом, применение разработанной компьютерной программы с использованием математических моделей на основе множественного регрессионного анализа позволяет прогнозировать получение заданных значений показателей качества канатной проволоки и канатов с наименьшей вариацией, что отражается на изменении значения комплексного показателя действенности технологии волочения канатной проволоки и свивки канатов.

Список литературы

1. Бородина Е.Н., Шубин И.Г., Румянцев М.И. Управление качеством канатной проволоки и канатов на основе множественного регрессионного анализа // Механика и актуальные проблемы металлургического машиностроения: междунар. сб. науч. тр. под ред. Железкова О.С. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. С. 136 – 145.

References

1. Borodina E.N., Shubin I.G., Rumyantsev M.I. Quality management of cable wire and cables on the basic multiple regression analysis // Mechanics and actual issues metallurgical engineering: international collection of scientific articles edited by Gelezkov O.S. Magnitogorsk: Edition of Nosov Magnitogorsk state technical university, 2014. Pp. 136–145.

Канатная проволока

Уравнения			
Обозначение	Значение	Минимум	Максимум
$\sigma_{в2}$	185	180	208,8
G2	9	9	-
Скр2	31	22	-

Факторы			
Обозначение	Значение	Минимум	Максимум
$\sigma_{в1}$	112	96	115
$B_{пл}$	7	7	9
ψ_1	35	24	46
λ_1	9	9	16
$C_{\sigma B}$	0,81	0,55	0,905
V_2	8,0	8	9,6
δ_{Σ}	83,6	-	-
$V_{ТО}$	0,26	0,19	0,28
$T_{ТО}$	492	490	520

Канат

Уравнения			
Обозначение	Значение	Минимум	Максимум
$\sigma_{в3}$	182	180	208,8
G3	11	9	-
Скр3	30	22	-

Факторы			
Обозначение	Значение	Минимум	Максимум
d_2	1,50	1,5	1,5
d_2/d_3	0,033	0,031	0,034
$d_2/d_{пл}$	0,102	0,1	0,104
$\sigma_{в2}$	185	180	208,8
σ_H	180	-	-
$\sigma_{в2}/\sigma_H$	1,03	1	1,16
d_3	45,5	45,1	47,3
$d_{пл}$	14,7	-	-
$H_{св}$	295,8	273	295,8
$d_2/H_{св}$	0,0053	0,0051	0,0055
L	273,0	273	295,8
O	100	60	130
V	32	30	38
$K/\sigma_{в2}$	0,54	0,33	0,68
$O/H_{св}$	0,34	0,203	0,476
V/d_3	0,70	0,634	0,843
$H_{св}/L$	1,08	0,923	1,084
$C_{\sigma B}$	0,81	0,55	0,905

Исходные данные

Продукция	Канат
Уравнение	$\sigma_{в3}$
Целевое значение	182
d_2	1,5
d_3	45,5

Интерфейс программы по выбору значений показателей исходной заготовки и технологических параметров производства

РЕФЕРАТЫ

УДК [621.74+621.777]:669.716

Сидельников А.С., Сидельников С.Б., Беляев С.В., Лопатина Е.С., Ворошилов Д.С. Применение процесса непрерывного литья и прокатки-прессования для получения изделий из алюминиевых сплавов системы Al-PZM и исследование их свойств.

В статье приведены результаты исследований формоизменения металла, его макро- и микроструктуры при непрерывном литье в двухвалковый кристаллизатор с одновременной кристаллизацией и деформацией его в валках и матрице применительно к алюминиевым сплавам с различным содержанием редкоземельных металлов. Показано, что механические и электрофизические свойства изделий, полученных таким способом, зависят от химического состава сплава и степени деформации при горячей и холодной обработке.

Рис. 4. Табл. 2. Библ. 5 назв.

Ключевые слова: непрерывное литье, совмещенные процессы, двухвалковый кристаллизатор, механические свойства, алюминиевые сплавы, редкоземельные металлы.

УДК 621.771

Чукин М.В., Песин А.М., Полякова М.А., Пивоварова К.Г., Торбус Н., Рыдз Д. Моделирование процесса прокатки биметаллического листа Ti-Ni.

С помощью программных комплексов DEFORM-3D и FORGE 2008 в настоящей работе выполнено исследование по определению основных закономерностей совместной пластической деформации биметалла титан-никель (Ti-Ni), полученного сваркой взрывом.

При прокатке с одинаковыми окружными скоростями рабочих валков биметаллическая лента получала кривизну. Рассогласование скоростей приводит к снижению кривизны. Увеличивая скоростную асимметрию можно легко довести кривизну готовой ленты до нуля.

Рис. 1. Библиогр. 5.

Ключевые слова: асимметричное деформирование, совместная пластическая деформация разных металлов, биметаллические листы, скоростная асимметрия, напряженно-деформированное состояние.

УДК 621.778.5:677.721

Харитонов В.А., Лаптева Т.А. Повышение эффективности производства стальных подвижных канатов применением калибрующего обжатия прядей.

Проведен анализ эффективности применения глубоких и калибрующих обжатий при производстве прядей подвижных канатов. Разработаны математические модели расчета калибрующего обжатия многослойных прядей, исследован механизм течения деформации при обжатию. Проведен эксперимент по обработке прядей с разными степенями пластического обжатия в трехроликовой волоке по схеме деформации «круг-круг». Выданы рекомендации по применению калибрующих обжатий прядей подвижных канатов.

Библиогр. 22 назв.

Ключевые слова: проволока, прядь многослойная, канат стальной, свивка, обжатие калибрующее, волока трехроликовая, контакт межпроволочный, напряжения контактные, напряжения свивочные, арка.

УДК 621:771.23–022.532:621.785

Чукин М.В., Салганик В.М., Полецков П.П., Бережная Г.А., Гущина М.С., Кузнецова А.С., Алексеев Д.Ю. Анализ технических требований, предъявляемых к наноструктурированному высокопрочному листовому прокату.

Выполнен анализ технических требований, предъявляемых к наноструктурированному высокопрочному листовому прокату, а также достигнутого уровня свойств данного вида продукции ведущими зарубежными производителями. По результатам анализа заключили,

что производимая инновационная продукция в виде импортозамещающего наноструктурированного высокопрочного листового проката должна обладать уникальным комплексом механических свойств, которые определяют ее функциональное назначение – сочетать сверхпрочность и высокую пластичность, выдерживать динамические нагрузки, обладать повышенной износостойкостью и хладостойкостью.

Табл. 5. Библиогр. 11 назв.

Ключевые слова: высокопрочная сталь, броневая сталь, инструментальная сталь, сверхпрочность, пластичность, твердость, ударная вязкость, износостойкость, хладостойкость, свариваемость.

УДК 621.771

Мешкова А.И., Копцева Н.В., Ефимова Ю.Ю., Никитенко О.А., Голубчик Э.М. Влияние положения фокального пятна лазера на формирование структуры и свойств сварных соединений в условиях нового стана холодной прокатки ОАО «ММК»

Рассмотрены вопросы влияния положения фокального пятна лазера относительно поверхностей свариваемой полосы на формирование структуры и свойств сварных соединений при лазерной сварке при укрупнении холоднокатаных рулонов в условиях непрерывных технологических агрегатов в новом комплексе холодной прокатки ОАО «ММК». Представлены результаты металлографических исследований структурных зон и микротвердости сварных соединений полосы из стали марки 10пс, полученных лазерной сваркой на стыкосварочных машинах фирмы Miebach.

Рис. 4. Табл. 2. Библиогр. 3 назв.

Ключевые слова: лазерная сварка, холоднокатаная полоса, низкоуглеродистая сталь, микроструктура, микротвердость, фокусировка лазера.

УДК 621.77

Голубчик Э.М., Кузнецова А.С., Дыя Х. Применение методологии адаптивного управления качеством в процессе объемной холодной штамповки крепежных изделий из стали с ультрамелкозернистой структурой

Для повышения конкуренции на рынке метизной продукции в настоящее время необходимо активное внедрение новых материалов и технологий, а также применение современных методов исследований процессов. При ужесточении требований потребителей к продукции металлопроизводители должны быть способны оперативно адаптироваться к изменяющимся условиям. В ФГБОУ ВПО «МГТУ» разработана методология адаптивного управления качеством металлопродукции широкого спектра назначения, предусматривающая возможность построения технологического процесса с гарантированным обеспечением нормируемого уровня качества в условиях неполноты априорной информации. В настоящей статье представлены результаты комплексных исследований по применимости данной методологии при разработке технологии производства крепежных изделий повышенного класса прочности с применением сталей марок 20 и 45 с УМЗ структурой в условиях ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ».

Рис. 8. Табл. 3. Библ. 9 назв.

Ключевые слова: адаптивное управление качеством, прогнозирование, крепеж, прочность, УМЗ-структура

УДК 621.778

Гурьянов Г.Н., Зуев Б.М. Влияние основных параметров деформации на эффективность формоизменения проволоочной заготовки.

Приведены результаты расчёта относительного прироста осевого напряжения, идущего на изменение формы заготовки, преодоление силы контактного трения и осуществление дополнительной деформации сдвига металла на входе и выходе рабочего конуса волокна в зависимости от основных параметров деформации.

Рис. 2. Табл. 1.

Ключевые слова: параметры деформации, осевое напряжение, сдвиг металла, рабочий конус, относительный прирост.

УДК 539.411/412.001.57

Барышников М.П., Никитенко О.А., Ишимов А.С., Ефимова Ю.Ю., Жеребцов М.С. Исследование механизмов разупрочнения в углеродистых сталях при многоцикловой горячей деформации с использованием комплекса физического моделирования Gleeble 3500.

В работе исследовано влияние различных режимов многоцикловой горячей пластической деформации и последующего охлаждения на процессы разупрочнения и формирования микроструктуры в углеродистой стали.

Рис. 5. Табл. 1. Библ. 5 назв.

Ключевые слова: процессы и механизмы разупрочнения, динамическая рекристаллизация, многоцикловая горячая пластическая деформация, углеродистая сталь, Gleeble 3500.

УДК 621.771

Зайдес С.А., Кургузов С.А., Михайлова У.В. Разработка штамповой оснастки с эластичной матрицей для изготовления тарельчатых пружин.

В работе представлена разработанная технология изготовления тарельчатых пружин с использованием эластичной среды. Указанная технология позволяет в зоне образования трещин сформировать криволинейную образующую за счет утяжки металла кромки в процессе штамповки и исключить применение операции притупления кромок пружин.

Рис. 3. Библиогр. 7 назв.

Ключевые слова: технология, тарельчатые пружины, эластичная матрица, зона образования трещин.

УДК 621.771

Снимщиков С.В., Суриков И.Н., Харитонов А.В., Харитонов В.А. Сравнительный анализ современных требований к арматурному прокату для ненапряженного железобетона

Определены современные требования к арматурному прокату для ненапряженного железобетона и выявлена тенденция к повышению его пластичности. Проанализированы существующие схемы производства. Показано, что действующая в России нормативная документация не обеспечивает выпуск высокотехнологичной арматурной стали.

Табл. 2. Библиогр. 3 назв.

Ключевые слова: сравнительный анализ, пластичность, арматурный прокат, ненапряженный железобетон, нормативная документация.

УДК 621.771

Паршина А.А. Создание модели процесса получения труб с переменной толщиной стенки.

В статье рассмотрена актуальная модель процесса профилирования трубы с переменной по профилю поперечного сечения толщиной стенки. Использован современный метод конечно-элементного анализа в апробированном компьютерном пакете. Результатами анализа являются рекомендации по использованию этого типа анализа для создания рациональной геометрии профилирующего инструмента.

Рис. 3. Библиогр. 4 назв.

Ключевые слова: трубы с переменной толщиной стенки, трубопрофильное производство, конечно-элементный анализ, метод конечных элементов, волочение труб.

УДК 621.771

Бородина Е.Н., Шубин И.Г., Румянцев М.И. Прогнозирование показателей качества канатной проволоки и стальных канатов с использованием математических моделей на основе множественного регрессионного анализа

Получены математические модели влияния характеристик высокоуглеродистой катанки и технологических факторов производства проволоки на свойства канатной проволоки. Установлены зависимости показателей качества канатов от характеристик канатной проволоки и технологических параметров производства канатов. Разработана компьютерная программа с использованием математических моделей на основе множественного регрессионного анализа для прогнозирования значений показателей качества канатной проволоки и канатов.

Рис. 1. Табл. 2. Библиогр. 1 назв.

Ключевые слова: прогнозирование, показатели качества, канат, канатная проволока, регрессионные модели.

REPORTS

UDC [621.74+621.777]:669.716

Sidelnikov A.S., Sidelnikov S.B., Belyayev S.V., Lopatina E.S., Voroshilov D.S. Application process of continuous casting and rolling-extruding for obtaining products from aluminum alloys system AL-REM and study of their properties.

This article represents results of study metal forming, its macro- and microstructure at continuous casting into twin roll crystallizer with simultaneous its crystallization and deformation in the rolls and the matrix in relation to aluminum alloys with different contents of rare earth metals. It is shown that the mechanical and electrophysical properties of the products obtained in this process are dependent on the chemical composition of the alloy and the degree of deformation during hot and cold processing.

Fig. 5. Table. 2. Bibliogr. 5 names.

Keywords: continuous casting, combined processes, twin roll crystallizer, mechanical properties, aluminum alloys, rare earth metals.

UDC 621.771

Chukin M.V., Pesin A.M., Polyakova M.A., Pivovarova K.G., Torbus N., Rydz D. Simulation of Ti-Ni bimetal composition sheet rolling.

Main regularities of detonation welded Ti-Ni bimetal composition joint plastic deformation studied by DEFORM-3D and FORGE 2008 software are presented in this paper.

Bimetal sheet while rolling with rolls equal radial rates bended. Bending decreases with rolls rates mismatch. Bending disappears with increasing rolls rates asymmetry.

Fig. 1. Bibliogr. 5 names.

Keywords: asymmetrical deformation, different metals joint plastic deformation, bimetal sheets, rate asymmetry, stress-strain state/

UDC 621.778.5:677.721

Haritonov V.A., Lapteva T.A. Increase efficiency of production the steel movable ropes when applying calibrating compression strands.

There is analyse application efficiency of the deep and calibrating squeeze strands of moving ropes. The developed mathematical model of calculation compression multilayer strands, studied the flow of deformation during compression. There are experiments of squeeze strands with varying degrees of plastic compression in the three-roller die with scheme of deformation «circle-circle». A recommendation on application calibrating reductions strands moving ropes is given.

Bibliogr. 20 names.

Keywords: wire, strand multilayer, steel wire rope, strand, compression calibrating, die three-roller, between the wires contact, contact stress, stress of strand, arch.

UDC 621:771.23–022.532:621.785

Chukin M.V., Salganik V.M., Poletskov P.P., Berezhnaya G.A., Gushchina M.S., Kuznetsova A.S., Alekseev D.Yu. Analysis of technical requirements for nanostructured high strength plate steels.

Analysis of technical requirements for nanostructured high-strength plate steels, as well as the achieved level of the properties of this product leading foreign manufacturers was performed. Innovative products in the form of import substitution nanostructured high-strength sheet metal must have a unique set of mechanical properties that determine its functional purpose - to combine the overstrength and high ductility to withstand dynamic loads, have high wear resistance and cold resistance.

Table. 5. Bibliogr. 11 names.

Keywords: high-strength steel, armor steel, tool steel, overstrength, ductility, hardness, toughness, wear resistance, cold resistance, weldability.

UDC 621.771

Meshkova A.I., Kopceva N.V., Efimova Yu.Yu., Nikitenko O.A., Golubchik E.M. The influence of laser focal spot on the formation of microstructure and mechanical properties of welding joints in the conditions of new cold rolling mill of ojsc "MMK"

Questions of focus spot influence relative to the surface of the welded strips on the structure formation and properties of laser welded joints at the integration of cold rolled products in an environment of continuous process units in the new cold rolling complex OJSC «MMK» are investigated. The results of metallographic analysis of structural zones and microhardness of welded joints strips of steel grade 10nc, obtained by laser welding on laser machines of the firm Miebach are presented.

Fig. 4. Table. 2. Bibliogr. 3 names.

Keywords: laser welding, cold-rolled strip, low carbon steel, microstructure, microhardness, laser focus.

UDC 621.77

Golubchik E.M., Kuznetsova A.S., Dyja H. Application of adaptive quality control methodology for fasteners with ultra-fine grain structure cold bulk forging.

Now active introduction of new materials and technologies, and also application of modern methods of processes researches for increase of the competition in the market of hardware production is necessary. When requirements of consumers to production become tougher, metalproducers have to be capable to adapt for the changing conditions quickly. The methodology of adaptive quality management of steel products of a wide range of appointment is developed in NMSTU, which provides the possibility of technological process creation and provides possibility of the guaranteed ensuring quality in the conditions of incompleteness of aprioristic information. Results of complex researches on applicability of this methodology when developing the production technology of fasteners of the raised quality class with application steel 20 and steel 45 with ultra-fine grain structure in the conditions of OJSC "MMK-METIZ" are presented in this article.

Fig. 8. Table. 3. Bibliogr. 9 names.

Keywords: Adaptive management, forecasting, fasteners, strength, ultrafine-grained structure

UDC 621.771

Guryanov G.N., Zuev B.M. Influence of basic parameters of deformation on the effectiveness of wire forming of blanks

Results of calculation of the relative increase of the axial tension going on change of the form of procurement, overcoming the force of the contact friction and implementation of additional shear metal at the input and output of the working cone drawing dies, depending on the basic parameters of deformation.

Fig. 2. Table. 1.

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

UDC 539.411/.412.001.57

Baryshnikov M.P., Nikitenko O.A., Ishimov A.S., Efimova Yu.Yu., Zherebtsov M.S. Investigation work softening mechanisms in carbon steels during high-cycle hot deformation using physical modelling complex GLEEBLE 3500.

Influence of different multi-cycle deformation regimes and subsequent cooling on softening and micro structure formation processes in carbon steel was investigated.

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

Key words: softening processes and mechanisms, dynamic recrystallization, multi-cycle hot plastic deformation, carbon steel, Gleeble 3500.

UDK 621.771

Zaides S.A., Kurguzov S.A., Mikhailova U.V. Design of forging tool set for dish-shaped springs manufacturing using elastic die.

Designed technology for disk-shaped springs production with elastic medium is presented in the paper. It makes possible to form curvilinear generating line in cracking zone by edge metal contraction during forging and exclude edge spring blunting operation.

Fig. 3. Bibliogr. 4 names

Key words: technology, disk-shaped springs, elastic medium, cracking zone, edge metal.

UDC 621.771

Snimchikov S.V, Surikov I.N., Kharitonov A.V., Kharitonov V.A. Comparative analysis of modern requirements for unstressed concrete reinforcing bars.

Modern requirements to reinforcing bars for unstressed concrete are defined and tendency to their plasticity increasing is revealed. Existing technological schemes are analyzed. It is shown that according to the normative documentation used in Russia it is impossible to produce high-tech reinforcing steel.

Table. 2. Bibliogr. 3 names.

Key words: comparative analysis, plasticity, reinforcing bars, unstressed concrete, normative documentation

UDC 621.771

Parshina A.A. Creating a model of process for producing a tubes with variable wall thickness.

The article describes the actual model of tube profiling process with variable wall thickness in a cross-sectional profile. Modern methods of finite - element analysis in a tested software was used. Results of the analysis are the recommendations for using this type of analysis to create a profiling instrument having a rational geometry.

Fig. 3. Bibliogr. 4 names

Key words: tubes, variable wall thickness, tubes profiling, tube drawing, finite - element analysis.

UDC 621.771

Borodina E.N., Shubin I.G., Rumyantsev M.I. Prediction of quality index of cable wire and steel cable using mathematical models based on multiple regression analysis

Mathematical models of influence of high-carbon wire rod characteristics and technological factors of wire production on cable wire properties were obtained. Dependences of quality index of cable from cable wire characteristics and technological parameters of cable production were established. Computer software was developed using mathematical models based on multiple regression analysis for prediction of quality index values of cable wire and steel cable.

Fig. 1. Table. 2. Bibliogr. 1 name.

Keywords: prediction, quality index, cable, cable wire, regression models.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алексеев Даниил Юрьевич - студент кафедры обработки металлов давлением института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Россия. E-mail: danon369@gmail.com.

Барышников Михаил Павлович – канд. техн. наук, профессор кафедры «Машиностроительных и металлургических технологий» института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Россия. E-mail: arcosmag@mail.ru.

Беляев Сергей Владимирович – д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой литейного производства института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Россия. E-mail: 24-48-12@mail.ru.

Бережная Галина Андреевна, канд. техн. наук, доцент кафедры обработки металлов давлением института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Россия. E-mail: galina_1609@mail.ru.

Бородина Екатерина Николаевна – аспирант кафедры «Машиностроительных и металлургических технологий» института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Россия. E-mail: Katusha.S.N@yandex.ru.

Ворошилов Денис Сергеевич - к-т техн. наук, старший преподаватель кафедры обработки металлов давлением института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Россия. E-mail: sbs270359@yandex.ru.

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

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

Гущина Марина Сергеевна, аспирант кафедры обработки металлов давлением, института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Россия. E-mail: marina.mgn.89@mail.ru.

Дыя Хенрик – профессор, доктор технических наук, профессор Факультета инженерии производства и технологии материалов, Ченстоховский Технологический Университет, г. Ченстохова. Польша. E-mail: dyja@wip.pcz.pl

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

Жеребцов Максим Сергеевич – аспирант кафедры «Машиностроительных и металлургических технологий» института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Россия. E-mail: Max777slavashka@mail.ru.

Зайдес Семен Азикович - д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Машиностроительных технологий и материалов», Национальный исследовательский «Иркутский государственный технический университет». Россия. E-mail: zsa@istu.edu

Зуев Борис Михайлович - зам. директора ОАО «НИИМетиз», г. Магнитогорск. Россия. E-mail: ggnbelorhorhoum@rambler.ru.

Ишимов Алексей Сергеевич - аспирант кафедры «Машиностроительных и металлургических технологий» института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Россия. E-mail: ttsoprano.a@gmail.com.

Копцева Наталья Васильевна - д-р техн. наук, профессор кафедры «Материаловедения и термической обработки металлов» института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Россия. E-mail: koptsev2002@mail.ru.

Кузнецова Алла Сергеевна - научный сотрудник кафедры «Машиностроительных и металлургических технологий» института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Россия. E-mail: allakuznetsova.mgtu@mail.ru.

Кургузов Сергей Анатольевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Россия. E-mail: ksaask@mail.ru.

Лаптева Татьяна Александровна – аспирант кафедры «Машиностроительных и металлургических технологий» института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Россия. E-mail: art.belor@yandex.ru.

Лопатина Екатерина Сергеевна – канд. техн. наук, доцент кафедры металлургии и термообработки металлов института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Россия. E-mail: sbs270359@yandex.ru.

Мешкова Анна Ивановна – аспирант кафедры литейного производства и материаловедения института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Россия. E-mail: koptsev2002@mail.ru.

Михайлова Ульяна Вадимировна – канд. техн. наук, доцент кафедры информатики и информационных технологий ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Россия. E-mail: ksaask@mail.ru.

Никитенко Ольга Александровна - канд. техн. наук, доцент кафедры «Машиностроительных и металлургических технологий» института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Россия. E-mail: olganikitenko@list.ru

Паршина Анастасия Анатольевна – аспирантка Уральского Федерального университета имени первого президента России Б.Н. Ельцина. Россия. E-mail: netskater@mail.ru.

Песин Александр Моисеевич - д-р техн. наук, профессор кафедры ОМД института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: pesin@bk.ru.

Пивоварова Ксения Георгиевна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Машиностроительных и металлургических технологий» института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: kgpivovarova@gmail.ru.

Полецков Павел Петрович - д-р техн. наук, проф. кафедры обработки металлов давлением института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: pavel_poletskov@mail.ru.

Полякова Марина Андреевна - канд. техн. наук, доцент кафедры «Машиностроительных и металлургических технологий» института металлургии, машиностроения и мате-

риалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Россия. E-mail: m.polyakova-64@mail.ru.

Румянцев Михаил Игоревич - канд. техн. наук, профессор кафедры обработки металлов давлением института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: mihigrum@mail.ru.

Рыдз Дариуш – д-р техн. наук, доцент, Ченстоховский технологический университет, Польша. E-mail: rydz@wip.pcz.pl.

Салганик Виктор Матвеевич - д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой обработки металлов давлением института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Россия. E-mail: pavel_poletskov@mail.ru.

Сидельников Андрей Сергеевич - ассистент кафедры литейного производства института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Россия. E-mail: sbs270359@yandex.ru.

Сидельников Сергей Борисович – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой обработки металлов давлением института цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск. Россия. E-mail: sbs270359@yandex.ru.

Снимщиков Сергей Валентинович – руководитель Сертификационного центра ОАО «НИЦ «Строительство», Министерство строительства и ЖКХ РФ, г. Москва. Россия. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Суриков Игорь Николаевич – заместитель руководителя Сертификационного центра ОАО «НИЦ «Строительство», Министерство строительства и ЖКХ РФ, г. Москва. Россия. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Торбус Нина – аспирантка Ченстоховского технического университета, г. Ченстохова, Польша. E-mail: ntorbus@wip.pcz.pl.

Харитонов Алексей Викторович – инженер Сертификационного центра ОАО «НИЦ «Строительство», Министерство строительства и ЖКХ РФ, г. Москва. Россия. E-mail: mgtu@magtu.ru.

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

Чукин Михаил Витальевич - д-р техн. наук, проф., первый проректор-проректор по научной и инновационной работе, зав. кафедрой «Машиностроительных и металлургических технологий» института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: m.chukin@magtu.ru.

Шубин Игорь Геннадьевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Машиностроительных и металлургических технологий» института металлургии, машиностроения и материалообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». E-mail: shubin64@mail.ru.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Alekseev Daniil Iurevich - student of the department «Metal Forming», Nosov Magnitogorsk State Technical University. Russia. E-mail: danon369@gmail.com.

Barishnikov Mikhail Pavlovich – Ph.D. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Russian. E-mail: arcosmag@mail.ru.

Belyaev Sergey Vladimirovich – D.Sc. (Eng.), Associate Professor of the department of foundry proceedings, Institute of Nonferrous Metals and Materials Science FSEI HPE «Siberian Federal University», Krasnoyarsk. Russia. Phone: E-mail: sbs270359@yandex.ru.

Berezhnaya Galina Andreevna - Ph.D. (Eng.), Associate Professor of the department «Metal Forming», Nosov Magnitogorsk State Technical University. Russia. E-mail: galina_1609@mail.ru.

Borodina Ekaterina Nikolaevna – Postgraduate student of Metallurgical and Machinebuilding Technologies department, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Russia. E-mail: Katusha.S.N@yandex.ru.

Chukin Mihail Vitalevich - D.Sc. (Eng.), Professor, First Vice-Rector-Vice Rector for Science and Innovation, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Russia. E-mail: m.chukin@mail.ru.

Dyja Henryk – D.Sc. (Eng.), Professor the Faculty of engineering, production and materials technology, Częstochowa University of technology, Poland, Czestochowa. E-mail: dyja@wip.pcz.pl.

Efimova Yuliya Yuryevna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Chair of Mechanical and Metallurgical Process Engineering. Russia. E-mail: jefimova78@mail.ru.

Golubchik Eduard Mikhailovich - Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Russia. E-mail: golub66@mail.ru.

Gurianov Gennadiy Nikolaevich - Ph.D. (Eng.), LLC "Phoenix +". Beloretsk. Russia. E-mail: ggnbelorhome@rambler.ru.

Gushchina Marina Sergeevna - Postgraduate Student of the department «Metal Forming», Nosov Magnitogorsk State Technical University. Russia. E-mail: marina.mgn.89@mail.ru.

Ishimov Maksim Sergeevich - Postgraduate student, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Russia. E-mail: ttsoprano.a@gmail.com.

Kharitonov Aleksey Viktorovich – engineer of the Certification center OJSC “Scientific Research Centre “Stroitelstvo”, Ministry of construction and housing and utilities of the Russian Federation, Moscow, Russia. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Kharitonov Veniamin Aleksandrovich - Ph.D. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Russia. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Koptseva Natalia Vasilievna – D.Sc. (Eng.), Professor «Material Science and Metals and Alloys Heat Treatment» Department, Nosov Magnitogorsk state technical university», Russia. E-mail: koptsev2002@mail.ru

Kurguzov Sergey Anatolyevich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor of the department of mechanical engineering, Nosov Magnitogorsk state technical university, Russia. E-mail: ksaask@mail.ru.

Kuznetsova Alla Sergeevna - research associate at the department of mechanical engineering and metallurgical technologies, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Russia. E-mail: allakuznetsova.mgtu@mail.ru.

Lapteva Tatyana Aleksandrovna - Postgraduate student, Nosov Magnitogorsk state technical university. Russia. E-mail: art.belor@yandex.ru.

Lopatina Ekaterina Sergeevna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor of the department of Metallurgy and heat treatment of metals, Institute of Nonferrous Metals and Materials Science FSEI HPE «Siberian Federal University», Krasnoyarsk. Russia. E-mail: sbs270359@yandex.ru.

Mechkova Anna Ivanovna - Postgraduate student, Nosov Magnitogorsk state technical university, Russia. E-mail: koptsev2002@mail.ru.

Mikhailova Ulyana Vladimirovna - Ph.D. (Eng.), Nosov Magnitogorsk state technical university». Russia. E-mail: ksaask@mail.ru.

Nikitenko Olga Aleksandrovna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Russia. E-mail: olganikitenko@list.ru.

Parchina Anastasiya Anatolievna - Postgraduate student FGAOU HPE «Ural federal university of a name of the first President of Russia B. N. Yeltsin». Russia. E-mail: netskater@mail.ru.

Pesin Aleksandr Moiseevich - D.Sc. (Eng.), Professor of the department «Metal Forming», Nosov Magnitogorsk State Technical University. Russia. E-mail: pesin@bk.ru.

Pivovarova Ksenia Grigorievna - Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Russia. E-mail: kgpivovarova@gmail.com.

Poletskov Pavel Petrovich - D.Sc. (Eng.), Professor of the department «Metal Forming», Nosov Magnitogorsk State Technical University. Russia. E-mail: pavel_poletskov@mail.ru.

Poliakova Marina Andreevna - Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Russia. E-mail: m.polyakova-64@mail.ru.

Rumyantsev Mihail Igorevich – Ph.D. (Eng.), Professor of the department «Metal Forming», Nosov Magnitogorsk State Technical University. Russia. E-mail: mihigrum@mail.ru

Rydz Dariusz - D.Sc. (Eng.), Assistant Professor, Czestochowa University of technology faculty of materials processing technology and applied physics. Poland. E-mail: rydz@wip.pcz.pl.

Salganik Victor Matveevich - D.Sc. (Eng.), Professor, Head of the department «Metal Forming», Nosov Magnitogorsk State Technical University. Russia. E-mail: pavel_poletskov@mail.ru.

Sidelnikov Andrei Sergeevich – assistant Department of foundry proceedings, Institute of Nonferrous Metals and Materials Science FSEI HPE «Siberian Federal University», Krasnoyarsk. Russia. E-mail: sbs270359@yandex.ru.

Sidelnikov Sergey Borisovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Chief of the Department of metal forming, Institute of Nonferrous Metals and Materials Science FSEI HPE «Siberian Federal University», Krasnoyarsk. Russia. E-mail: sbs270359@yandex.ru.

Shubin Igor Gennadievich - Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Russia. E-mail: shubin64@mail.ru.

Snilchikov Sergey Valentinovich – the Head of the Certification center OJSC “Scientific Research Centre “Stroitelstvo”, Ministry of construction and housing and utilities of the Russian Federation, Moscow, Russia. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Surikov Igor Nikolaevich - the Deputy Head of the Certification center OJSC “Scientific Research Centre “Stroitelstvo”, Ministry of construction and housing and utilities of the Russian Federation, Moscow, Russia. E-mail: mgtu@magtu.ru.

Torbus Nina - Postgraduate student, Czestochowa University of technology faculty of materials processing technology and applied physics. Poland. E-mail: ntorbus@wip.pcz.pl.

Voroshilov Denis Sergeevich – Candidate of science, assistant Department of metal forming, Institute of Nonferrous Metals and Materials Science FSEI HPE «Siberian Federal University», Krasnoyarsk. Russia. E-mail: sbs270359@yandex.ru.

Zherebtsov Maksim Sergeevich – Postgraduate student, Nosov Magnitogorsk State Technical University. Russia. E-mail: Max777slavashka@mail.ru.

Zajdes Semen Azikovich - D.Sc. (Eng.), Professor Head of the department «Irkutskiy State Technical University». Russia. E-mail: zsa@istu.edu.

Zuev Boris Mixajlovich – deputy director of JSC NIIMetiz, Magnitogorsk. Russia. E-mail: ggnbelorhome@rambler.ru.

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 заглавными буквами; п/ж, использовать возможность видоизменения на строчные буквы). Должно кратко отражать содержание статьи. Не рекомендуется использовать сокращения и аббревиатуры.

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

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 (строчными буквами через запятую).

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), оформленный в соответствии ГОСТ Р 7.05-2008.

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 – 12 пт, межстрочный интервал – одинарный, перенос слов - автоматический;

- при вставке **формул** использовать встроенный редактор формул **Microsoft Equation** со стандартными установками, применяется только сквозная нумерация;

- **рисунки и фотографии**, вставленные в документ, должны быть четко выполнены, допускать перемещение в тексте и возможность изменения размеров (толщины линий и размеры обозначений должны обеспечивать четкость при уменьшении рисунка до рациональных размеров), в форматах *.TIF, *.JPG, с разрешением **не менее 300 dpi**, B&W – для черно-белых иллюстраций, Grayscale – для полутонов. Максимальный размер рисунка с подписью – 150x235 мм. В тексте статьи должны быть ссылки (**рис. 4**), подрисуночные подписи в местах размещения рисунков по центру. Например:

*Рис. 4. Расчетная зависимость $\gamma(t) = I_{nr} / I_{n0}$ 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. Ссылки на таблицу в тексте (**табл. 1**).

Пример оформления таблицы:

Таблица 1

Режимы сопротивления деформации в процессе обработки

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.